ISSN 1405-0471

Madera y Bosques



INSTITUTO DE ECOLOGIA, A.C.

PRIMAVERA
2 0 1 0 16(1)
Xalapa, Ver.

MADERA y BOSQUES
Vol. 16 Núm. 1 Primavera de 2010

Madera y Bosques, es una publicación del Instituto de Ecología, A.C., que edita la Unidad de Recursos Forestales. Los trabajos que publica tratan los temas de tecnología de productos forestales y del campo forestal en general, con énfasis en ecología forestal y manejo forestal. Se aceptan trabajos en español, inglés y ocasionalmente en otros idiomas. Su objetivo principal es constituirse en un medio de difusión de la investigación científica. Asimismo, publica contribuciones técnicas y estados del arte que incidan en el medio nacional e internacional. Es una publicación cuatrimestral que aparece en primavera, en otoño y en invierno. Ocasionalmente se ofrecerá un número especial.

Madera y Bosques, Vol. 16 Núm. 1 de 2010. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2005-062018152600-102. Número de Certificado de Licitud deTítulo: 12906. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10479. Domicilio de publicación: Km. 2.5 Carretera Antigua a Coatepec No. 351. Congregación El Haya. 91070 Xalapa, V er., México. Imprenta: Editorial Cromocolor S.A. de C.V ., Miravalles 703. Col. Portales 03300 México, D.F.
La suscripción anual para 2009 es de $250.00+$125.00 gastos de envío al interior de la República y $35.00 USD al extranjero. Precio por ejemplares sueltos $160.00 y $15.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions,Tenochtitlan No. 26 L10 M7,Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F . México, Tel/Fax?55) 5643-2939, ce:mmaximomx@yahoo.com.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e:libros@inecol.edu.mx. La reproducción total o parcial de los artículos podrá hacerse con el permiso expreso de los editores. Esta revista forma parte de los índices ISI W eb of Science (Science Citation Index Expanded), Revistas Mexicanas de Ciencia yTecnología (IRMCyT) del CONACYT, Redalyc, Dialnet, Periódica, Índice Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología, SCOPUS, Actualidad Iberoamericana, CAB Forest Products Abstracts, Latindex, Seriunam y British Library.

MADERA Y BOSQUES

Vol.16 Núm. 1 Primavera de 2010

CONTENIDO



Nuestra portada: Vegetación ripárica en las aguas del río Tunal, Centro Recreativo "El Saltito", Durango, México. Autor: J. Návar.

MADERA Y BOSQUES

Vol.16 Num. 1 Spring 2010

TABLE OF CONTENTS



Our cover: Riparian vegetation in the waters of Rio Tunal, Recreational Center “El Saltito”, Durango, Mexico. Author: J. Návar.

EDITORIAL

En el año 2000 escribí en esta misma revista con un querido colega hoy desaparecido, el Ing. Francico Morosini, un texto acerca de los temas de desarrollo sostenible, medio ambiente y economía en el sector forestal. En ese texto se planteaban, a juicio de los autores, los principales desafíos que afrontaría en los siguientes años el sector forestal. Entre ellos se mencionaba la necesidad de fomentar el manejo sostenible de los bosques, la mejora de la legislación y los instrumentos voluntarios sobre energía, el suministro de la misma a precios competitivos, la garantía del suministro permanente de madera con precios igualmente competitivos, mejorar los resultados ambientales y energéticos del sector e informar sobre los resultados ambientales recurriendo a métodos de medición comprobados. A diez años de distancia, cabe preguntarse si estamos mejor ahora que en aquella época. Es muy difícil responder a esta pregunta con precisión, pero lo que sí es seguro es que los retos planteados antes siguen vigentes, así como algunos otros más, igual de importantes. Seguirá siendo tarea de todos aportar nuestros esfuerzos para ir avanzando en la solución de estos asuntos y poder afirmar cuando termine nuestra existencia en este mundo que estamos dejando un mundo en mejores condiciones que en las que lo recibimos. Para México, la atención a esta temática es particularmente relevante pues el Gobierno Federal se ha embarcado en la ambiciosa tarea de organizar la 16ava. Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP 16), que se realizará del 29 de noviembre al 10 de diciembre en Cancún, Quintana Roo. Como parte de ese esfuerzo, las autoridades del ramo se han abocado a promocionar y auspiciar la búsqueda de fórmulas creativas que permitan enfrentar con eficacia el reto climático, y que sean la base para alcanzar los acuerdos necesarios en Cancún.

En ese contexto, es pertinente señalar que los problemas de abasto de agua en las regiones desérticas se agudizan cuando los patrones de sequía se vuelven más frecuentes o severos. Para entender los patrones y tendencias del clima, es necesario estudiar los fenómenos climatológicos del pasado. En ese sentido, los estudios de reconstrucción del clima han cobrado gran relevancia recientemente debido a la importancia científica que reviste el conocimiento del cambio climático global, del impacto de patrones de circulación atmosférica y su efecto en el ciclo hidrológico, los que inevitablemente, tienen influencia significativa en la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos, generando un alto impacto en actividades productivas y para consumo humano en el norte de México. En nuestro país, este tipo de trabajos son escasos, por eso es que debe resultar de sumo interés la lectura de dos artículos incluidos en este número que tratan ese tema. Los estudios se efectuaron en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Nuevo León, Zacatecas, Coahuila, San Luís Potosí, Hidalgo y Querétaro, cubriendo la mayoría de las zonas de la parte centro-norte del oriente del país. Esta información será de gran utilidad para los investigadores y manejadores del recurso agua para proponer medidas adecuadas que permitan propiciar un uso sustentable del recurso.

Muy ligado al tema de la disponibilidad de agua se encuentra el de la valoración de los servicios ambientales hidrológicos. En este número, incluimos dos trabajos realizados también en el norte del país, pero en este caso, abarcando las dos Sierras Madres: la Oriental en Nuevo León y la Occidental en Durango. En uno de los trabajos se estimó la disponibilidad a pagar del público usuario para preservar las fuentes de aprovisionamiento de agua y la disponibilidad a aceptar el pago por los dueños de los terrenos que

proveen el servicio ambiental hidrológico. Los resultados muestran que la gran mayoría de los usuarios están dispuestos a pagar los servicios ambientales y que los propietarios del terreno están dispuestos a aceptar pagos razonables como compensación por favorecer la captación y almacenamiento del agua en la micro-cuenca. El otro trabajo presenta información sobre las características dasométricas, de existencias reales, biomasa, carbono y diversidad biológica de los bosques templados del estado de Nuevo León, México. Se recalca que estos bosques se encuentran en un estado juvenil con bajas densidades en número de arbolado, en volumen y baja productividad, lo mismo que la diversidad de especies arbóreas y arbustivas. Lo importante es que se encontró evidencia de que la productividad está relacionada con la diversidad biológica y la diversidad estructural arbórea y arbustiva en forma directa y positiva. Con todo, se concluye que el potencial de manejo de estos bosques para su conservación y restauración es alto.

Los artículos restantes abordan temas igualmente interesantes y útiles. En uno de ellos se presenta un estudio sobre la planta llamada regionalmente 'ojo de venado' o 'castaño de México', Ungnadia speciosa *Ende., utilizada en los programas de forestación en México dadas sus características adaptativas. Su producción en invernadero es afectada por patógenos que causan tizones en hojas, achaparramiento y bifurcación de tallos, lo que imposibilita su uso en las plantaciones, por lo que se buscó determinar el agente causal y mecanismos para su control. La información derivada de este trabajo será de gran apoyo para los interesados en el uso de esta planta en programas de reforestación. Otro trabajo trata sobre la familia Myrtaceae que en México está representada por doce géneros que se distribuyen ampliamente en regiones templadas, tropicales y semiáridas. Esta familia es de gran importancia económica por la extracción de la madera (*Eucalyptus *spp.), el consumo de frutos (*Psidium *spp.) y la apicultura (*Eugenia *spp.), entre otros usos. La estructura de su madera ha sido poco estudiada, por lo que en este trabajo se describe la anatomía de especies recolectadas en el estado de Quintana Roo. El último trabajo es una nota técnica que se refiere a la interpretación de los nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales de crecimiento preformado, lo que suele ser una tarea complicada. Se incluye una guía para facilitar la interpretación de los nomogramas.*

Este número de la revista resultó particularmente extenso porque la demanda de información es cada vez mayor. En ese sentido deseamos informar que la revista Madera y Bosques *se publicará de manera trimestral a partir de 2010. Esperamos que de esta manera, ofrezcamos un servicio más útil y oportuno a sus lectores.*

Raymundo Dávalos Sotelo

Editor

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Agente causal del tizón foliar en *Ungnadia speciosa* Endl. (Sapindales: Sapindaceae) y la evaluación *in vitro* e *in situ* de un biocida

Causal agent of leaf blight in *Ungnadia speciosa* Endl. (Sapindales: Sapindaceae) and the *in vitro* and *in situ* biocide evaluation

María Elizabeth Galindo-Cepeda[1], Marco Antonio Granillo-Chapa[2], Melchor Cepeda-Siller[1], Luis Alberto Aguirre-Uribe[1], Francisco D. Hernández-Castillo[1] y Alberto Flores-Olivas[1]

RESUMEN

La planta llamada regionalmente ojo de venado, también conocida como castaño de México *Ungnadia speciosa* Endl., es utilizada en programas de forestación en México dadas sus características adaptativas y su forma de vida arbustiva. Sin embargo, su producción en invernadero se ve afectada por patógenos que causan tizones en hojas, achaparramiento y bifurcación de tallos, lo que imposibilita su uso en plantaciones. De ahí que el objetivo del presente trabajo haya sido determinar el agente causal y la evaluación *in vitro* e *in situ* del cloruro de benzalconio para su control. Se colectó tejido vegetal en campo e invernadero, se sembró en agar nutritivo y papa dextrosa agar; se realizaron las pruebas preliminares LOPAT y bioquímicas, pertinentes para la identificación. Para la incidencia y severidad, se uso el modelo propuesto por French (1982), la evaluación *in vitro* fue mediante el método de placa envenenado; usando 13 tratamientos con cinco repeticiones, evaluando las unidades formadoras de colonias (UFC). *In situ* se usaron siete tratamientos con tres repeticiones, evaluando el área foliar dañada. De acuerdo a los postulados de Koch, se encontró a *Pseudomonas syringae*, involucrada en el síntoma de tizón y malformaciones del ojo de venado. El cloruro de benzalconio, en todas las dosis controló satisfactoriamente *in vitro* en todas las dosis; y el mejor tratamiento *in situ* fue el de 3 000 ppm (7 g/L) que presentó un área foliar dañada de 17,33% y el testigo de 73,09%.

PALABRAS CLAVE:
Cloruro de benzalconio, desierto chihuahuense, ojo de venado o castaño de México, *Pseudomonas syringae*.

ABSTRACT

The Mexican buckeye *Ungnadia speciosa,* is one of the plants used in forestation programs in Mexico due its adaptive features and its shrub or small tree form; however production in the greenhouse is affected by pathogens that cause leaf blight, dwarf and fork stalks, making it impossible to use in plantations. The objective of this work was to determine the causal agent and evaluation of *in vitro* and *in situ* of benzalkonium chloride to control it. Plant tissue was collected in field and greenhouse and put in nutrient agar and potato dextrose agar. LOPAT and relevant biochemical test were

1 Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. megalcep@uaaan.mx.
2 Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. aflooli@uaaan.mx

conducted for identification. For the incidence and severity, the model proposed by French (1982), was used. The poisoned plate flock was used for the *in vitro* evaluation with 13 treatments and five repetitions, assessing the colony forming units (CFU); seven *in situ* treatments with three replications were used evaluating damaged leaf area. It was found that for *Pseudomonas syringae,* according to the Koch's postulates involved in the symptoms of blight and deformities in the Mexican buckeye, field incidence was 12,9% and 36% in greenhouse; severity was 6,5% and 32%, respectively. Benzalkonium chloride satisfactorily controlled *in vitro* in dosages, and the best treatment *in situ* was 3 000 ppm (7 g/L), which showed a leaf damaged area of 17,33% and target treatment 73,09%.

KEY WORDS:
Benzalkonium chloride, Chihuahuan desert, Mexican buckeye, *Pseudomonas syringae*.

INTRODUCCIÓN

El ojo de venado *Ungnadia speciosa* Endl., es una planta nativa del desierto chihuahuense que se utiliza como planta de ornato, como fuente de néctar para diversas especies de insectos y como planta de cobertura. Esto debido a que requiere de poca cantidad de agua para su establecimiento y supervivencia, así como su rápido desarrollo al ser plantada en suelos poco profundos y/o fértiles. Presenta una floración al inicio de la primavera, por lo que es una fuente de alimento temprana para insectos polinizadores (Burke *et al.,* 1994). Se usa además para disminuir los procesos erosivos, ya que es poco atractiva para los herbívoros (Lipe, 1999).

En México se pierden alrededor de 340 000 ha de los recursos naturales en las zonas áridas y los bosques templados (Semarnap, 2005), con sus consecuentes daños al ecosistema. En Coahuila se está trabajando con especies del semidesierto de interés ambiental. Dentro de estas especies se encuentra *U. speciosa* con el fin de mantener la riqueza forestal del país (Banco de semillas forestales de Coahuila, s/f). Sin embargo, uno de los problemas graves para utilizar esta especie, es la falta de plantas de calidad y sanidad adecuadas para su establecimiento en plantaciones.

Dentro de los eventos más comunes en la producción de plantas en viveros y/o invernaderos, destacan las enfermedades, que llegan a ocasionar la pérdida total de lotes o afectar la sobrevivencia de las plantas, las cuales, al ser colocadas en su sitio definitivo tienen menor posibilidad de adaptarse y por lo tanto de prosperar. La producción de plantas sanas es el punto medular para lograr el éxito de las plantaciones. En áreas de distribución natural *U. speciosa* presenta malformaciones, achaparramiento y el tizón en una incidencia baja. En cambio, al producir plantas en invernaderos, donde los factores ambientales se modifican dichas plantas presentan incidencia del tizón de 32% (Cerezo, 1998). Aunado a esto, la bifurcación del tallo las hace inadecuadas para forestación.

El uso de productos químicos de amplio espectro, es una alternativa para abatir los costos de producción al disminuir la cantidad de agroquímicos usada en la producción de plantas. Uno de estos es el N-alquil dimetil bencil cloruro de amonio, que presenta un amplio espectro de acción sobre diversas especies de microorganismos.

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son: Determinar el patógeno involucrado en el síntoma de tizón del ojo de venado en *Ungnadia speciosa*, y comprobar el efecto *in vitro* e *in situ* de un producto químico de

amplio espectro, sobre los patógenos aislados de *U. speciosa*.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México y se efectuó en dos etapas durante los meses de noviembre 2005 a junio 2006. En la primera, se determinó el agente causal, así como la incidencia y severidad del tizón en campo e invernadero. En la segunda se evaluó un producto biocida *in vitro* e *in situ*.

Determinación del agente causal

En la región noroeste de Coahuila se realizó un recorrido en el área de protección de flora y fauna de Maderas del Carmen, en el municipio de Ocampo, en el cañón denominado El Jardín (INE-Semarnap, 1997). Ahí se colectó material vegetal con la sintomatología típica del tizón, así como en el invernadero del departamento forestal de la UAAAN. Dicho material se colocó en bolsas de polietileno en una hielera para su traslado al laboratorio de fitopatología del departamento de parasitología, donde fueron procesadas siguiendo la técnica propuesta por Noval (1998). El tejido se sembró en agar nutritivo (AN) y papa dextrosa agar (PDA) ambos marca (Difco). Se incubaron a 25 ^{o}C por 24 horas. De los microorganismos que se desarrollaron se realizó una purificación por explante y estría múltiple en agar nutritivo y se incubaron en las condiciones antes mencionadas. Las cepas bacterianas se sometieron a la tinción de Gram y la prueba de RYO, como primera técnica para separar las bacterias fitopatógenas. Posteriormente se sembraron en los medios semiselectivos extracto de levadura dextrosa carbonato de calcio (YDC), Perry y Kado 1(D_1M), medio B de King (KB) (King *et al*., 1954), medio Kado y Heskett (D_3K) y medio pectato cristal violeta (CVP), sugeridos por Schaad *et al*. (2001). A continuación se realizaron las pruebas rápidas de patogenicidad de acuerdo con la técnica mencionada por Rodríguez (2001), usando una concentración bacteriana de $1x10^{-8}$ unidades formadoras de colonias (UFC), de la escala de McFarland. Las pruebas bioquímicas levana, oxidación, pectólisis en papa, arginina (Thornely, 1960) e hipersensibilidad del tabaco (LOPAT), se realizaron de acuerdo al protocolo de cada una de ellas, además de realizar la siembra en el medio semiselectivo agar B de King con antibióticos KBBC, de acuerdo a Ovad *et al*. (1997).

Incidencia y severidad

Se trabajó con el modelo de French (1982), en el cual la intensidad es el grado de daño ocasionado en el cultivo, que incluye dos componentes: la incidencia que es el número de plantas afectadas expresado como porcentaje del total, y la severidad que es la porción de tejido afectado, expresado como porcentaje del área total, se propuso la escala siguiente (Tabla 1) para el tizón del ojo de venado *U. speciosa*.

En el invernadero se evaluaron dos lotes de plántulas, cada uno de los cuales contenía mil plantas, en el área de Maderas del Carmen, se recorrió durante cinco días el cañón, encontrando 32 plantas de *Ungnadia*, a las que se evaluó la incidencia y severidad.

Tabla 1. Escala de evaluación de la severidad para el tizón del ojo de venado *U. speciosa* (Galindo y Granillo, 2004).

Categoría	% de daño
1	<10
2	10-25
3	26-75
4	76-85
5	>85

Evaluación *in vitro*

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), para la variable unidades formadoras de colonias bacterianas (UFC); por unidad experimental que representa una caja Petri, se evaluaron 13 tratamientos con cinco repeticiones (Tabla 2) del producto comercial Timsen (Okehi group, presentación sales). El método de la evaluación fue el plato envenenado, al que se adicionó el producto al medio de cultivo. El inóculo usado fue 0,1 mL de solución bacteriana, a una concentración de $1x10^{-4}$ UFC/mL de la escala de McFarland, que se dispersó en la caja Petri con la ayuda de una varilla acodada y se incubó a temperatura de 25 ºC durante 24 h, en donde se llevó a cabo el conteo de UFC.

Evaluación *in situ*

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con siete tratamientos y tres repeticiones (Tabla 3). La unidad experimental (UE) fue de nueve plantas de *U. speciosa*. Las plantas utilizadas presentaban cinco hojas y cinco foliolos, así como homogeneidad en el tamaño (0,90 m) y forma. Las variables consideradas en el experimento fueron: número de lesiones foliares considerando únicamente aquellas que mostraron el tizón característico. La

Tabla 2. Tratamientos usados *in vitro* contra *Pseudomonas syringae*.

Tratamiento	ppm de cloruro de benzalconio
1	4 000
2	3 340
3	3 000
4	2 670
5	2 000
6	1 500
7	1 000
8	500
9	250
10	180
11	70
12	120 ppm de sulfato de estreptomicina y oxitetraciclina. Testigo comercial
13	Testigo absoluto

dimensión de la lesión se expresó en porcentaje de área foliar dañada considerando a la UE como el 100% del área foliar. Para esto se uso un medidor electrónico de áreas y altura de la planta. Se llevaron a cabo seis aplicaciones cada veinte días del producto comercial Timsen, entre el 18 de diciembre de 2005 y 28 de marzo de 2006. La toma de datos se inició un día antes de la primera aplicación y terminó 20 días posteriores a la última aplicación.

Tabla 3. Tratamientos usados *in situ* para el control de *P. syringae*.

Tratamiento	ppm de cloruro de benzalconio
1	500
2	1 000
3	1 500
4	2 000
5	2 500
6	3 000
7 Testigo	0

El análisis estadístico de los resultados, se realizó con el promedio general del número de lesiones de tizón foliar, así como del área foliar dañada (%), en cada uno de los tratamientos y repeticiones, usando un diseño completamente al azar. Los datos se ingresaron al programa estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, para correr el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación múltiple de medias por el método de Tukey, a 95% y 99% de confiabilidad.

RESULTADOS

Se aislaron de hojas, ramas y tallos los hongos *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Lind. y *Penicillium expansum* Link, los que se identificaron con las claves morfológicas de Barnett y Hunter (1998), así como la bacteria *Pseudomonas syringae* van Hall la que fue identificada de acuerdo con las pruebas mencionadas por Schaad *et al*. (2001); los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Pruebas preliminares de colonias bacterianas aisladas de *U. speciosa*.

Prueba	Resultado
Tinción de Gram	(-) bacilos cortos
Tinción de flagelos	(+) polares 2-3
Catalasa	(+)
Oxidasa	(-)
Prueba de KOH	(+)
Crecimiento en anaerobiosis	Aeróbicos estrictos

Esta bacteria únicamente se desarrolló en el medio B-King y al observar sus colonias con luz ultravioleta con filtro de 420 nm se presentó una fluorescencia verde-amarillenta, indicando la presencia del género *Pseudomonas*. En las pruebas rápidas de patogenicidad, en las rodajas de papa no se presentó pudrición y en las hojas de tabaco se observó un tizón con un halo amarillento. Para la diferenciación de las especies se realizaron las pruebas bioquímicas que se citan en la tabla 5. Estos aislados se desarrollaron en el medio KBBC.

Tabla 5. Pruebas bioquímicas y de patogenicidad para diferenciar especies del género *Pseudomonas*.

Prueba	Respuesta
Levana	(+) colonias pulvinadas
Producción del citocromo oxidasa	(-)
Manitol	(+)
Sorbitol	(+)
Celobiosa	(-)
Arabinosa	(-)
Sacarosa	(+)
Óxido-fermentación	(+) ; (-).
Crecimiento a 37 °C	(-) se incubaron a 35 °C

Los resultados de estas pruebas corresponden a la especie *syringae* de acuerdo con lo que mencionan Schaad *et al.* (2001).

Incidencia

En condiciones de campo, de las 32 plantas que se encontraron en el Jardín de Maderas del Carmen, cuatro presentaron los síntomas de tizón foliar, achaparramiento y malformación, es decir 12,9%. En el caso del invernadero se analizaron 2 000 plantas de las que 720 presentaron estos síntomas, es decir 36% se encontraron dañadas.

Severidad

El área foliar dañada en campo fue de 6,5% es decir, en la categoría uno de la escala de evaluación. En el invernadero

la media aritmética obtenida fue de 32%, ubicándose en la categoría tres de la escala de evaluación utilizada, como se observa en la figura 1.

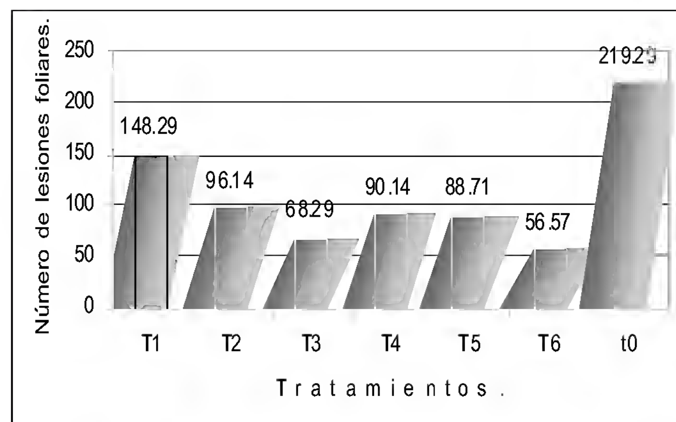


Figura 1. Número de lesiones de *Pseudomonas syringae* sobre *Ungnadia speciosa.*

Pruebas *in vitro*

Fueron 11 las dosis de cloruro de benzal-conio usadas contra *P. syringae*, desde 70 ppm hasta 4 000 ppm (0,005-1,3 g/L producto comercial), en las cuales no existió la formación de unidades forma-doras de colonias bacterianas a las 24 h; así como tampoco en el tratamiento comercial usado como testigo que fue el sulfato de estreptomicina y clorhidrato de oxitetraciclina que contenía 120 ppm (1 g/L producto comercial). En el tratamiento testigo absoluto se reportó un promedio de 1 720 UFC/mL.

Pruebas *in situ*

El comportamiento de los tratamientos del cloruro de benzalconio en el número de las lesiones foliares de la bacteria *P. syringae*, se muestra en la tabla 6.

El análisis de varianza, indica que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, como se observa en el promedio general del número de lesiones del área foliar, el tratamiento siete (T_7 testigo), presentó un promedio de lesiones de 73,09; mientras el que fue el mejor, tratamiento seis (T_6, 3 000 ppm, 7 g/L de producto comercial) presenta 18,85 lesiones (Figura 2); seguido del tratamiento tres (T_3, 1 500 ppm) con 22,76 lesiones por área foliar. La prueba de comparación múltiple de medias por el método de Tukey arrojó tres categorías en los dos niveles de confiabilidad, pero en donde se usó el

Tabla 6. Número de lesiones del tizón en el área foliar de *U. speciosa* afectada por *Pseudomonas syringae.*

Tratamiento ppm	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio	Tukey 95% (DHS= 22,62)	Tukey 99% (DHS= 28,47)
T1 500	46,0	52,14	50,14	49,42	26,81 B	20,95 B C
T2 1 000	19,57	36,43	40,14	32,04	9,43 A B	3,57 A B
T3 1 500	22,14	23,86	22,29	22,76	0,14 A	-5,72 A B
T4 2 000	28,57	36,14	25,43	30,04	7,43 A B	1,57 A B
T5 2 500	22,86	24,14	41,71	29,57	6,95 A B	1,09 A B
T6 3 000	21,86	15,86	18,86	18,85	-3,77 A	-9,61 A
T7 testigo	58,14	84,00	77,14	73,09	50,47 C	44,62 C

Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P<0,05$ y $P<0,01$

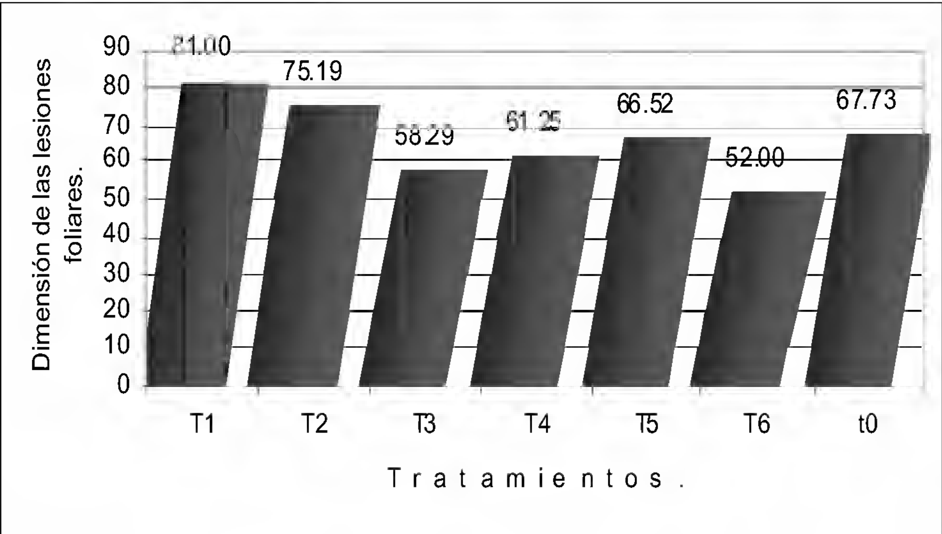


Figura 2. Porcentaje o dimensión de lesiones de *Pseudomonas syringae* usando cloruro de benzalconio.

cloruro de benzalconio todos son iguales estadísticamente, el único diferente fue el testigo ya que es el que presenta el número más grande de lesiones.

Dimensión de las lesiones

El área foliar total dañada, muestra que hay diferencia entre los tratamientos. Sin embargo en la prueba de Tukey a 95% (DHS), se observan dos niveles de significancia, lo que estadísticamente nos dice que todos los tratamientos son iguales. El mejor tratamiento fue el seis (3 000 ppm, 7 g/L de producto comercial) con 7,89% de área foliar dañada por *P. syringae,* mientras que el testigo (T_7) 13,14% de daño; sin embargo los tratamientos uno y dos (T_1, 500 ppm y T_2, 1 000 ppm), presentaron mayor área foliar dañada por el tizón que ocasiona esta bacteria (Tabla 7).

La variable altura de la planta no presentó diferencia significativa en los tratamientos usados.

Tabla 7. Dimensión del área foliar dañada de *U. speciosa* por la bacteria *P. syringae,* expresada en porcentaje.

Tratamiento ppm	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio	Tukey 95% (DHS= 9,44)
T1 500	32,21	27,43	21,37	27,00	17,56 B
T2 1 000	23,64	30,57	20,98	25,06	15,63 A B
T3 1 500	17,25	19,52	21,51	19,39	9,99 A B
T4 2 000	20,97	21,22	19,06	20,41	10,98 A B
T5 2 500	19,52	22,51	24,49	22,17	12,74 A B
T6 3 000	18,18	18,17	15,73	17,33	7,89 A
T7 testigo	24,33	24,81	18,59	22,57	13,14 B

Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una P<0,05 y P<0,01

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Rhizopus stolonifer y *Penicillium expansum* son hongos que causan pudriciones en tejidos suculentos de frutas y hortalizas durante el almacenamiento y transporte, además de considerarse hongos contaminantes en los laboratorios de acuerdo con Smith *et al.* (2001), por lo que no presentaron una relación con los síntomas causados por el tizón foliar en *U. speciosa. Pseudomonas syringae* es una bacteria que causa disminución en el crecimiento, marchitamiento y defoliación del follaje así como la aparición de grietas y necrosis en el floema en plantas de olivo (Scortichini, 1997). En el ojo de venado *U. speciosa,* los síntomas del tizón foliar inician en el ápice de las hojas hacia la base, seguido de una defoliación, donde el tallo de las plantas se torna quebradizo con grietas y disminuye su crecimiento (Figura 3). Las pruebas bioquímicas y de patogenicidad que se realizaron a las cepas, nos indican que el género *Pseudomonas* únicamente fermenta la glucosa y en condiciones aeróbicas forma un ácido que cambia el pH del medio, que se manifiesta como un cambio de color, esto de acuerdo con Hugh y Leifson (1953). Este género presenta una respuesta positiva a la presencia de la enzima citocromo-oxidasa por lo que permite separarlo de otros géneros (Lelliot *et al.,* 1966). Las colonias que crecieron en la levana fueron pulvinadas, por lo que el grupo *syringae* de *Pseudomonas* es el único que aprovecha este polisacárido y el grupo fluorescente no lo aprovecha (Schaad *et al.,* 2001). La cepa bacteriana se desarrolló en el medio semiselectivo KBBC en el cual pueden desarrollarse los patovares *syringae, pisi* y *tomato* de acuerdo con Ovad *et al.* (1997). Para confirmar el patovar, la capacidad para formar núcleos de hielo serviría para separar *syringae* y *pisi* de *tomato* ya que éste no los forma; y el patovar *syringae* de la *pisi* con la prueba DL homoserina, debido a que la respuesta del primero es negativa y la del segundo positiva.



Figura 3. Daño de *Pseudomonas syringae* sobre hojas y plantas de *U. speciosa.*

Las plantas de *U. speciosa* en el invernadero presentaron 36% de incidencia de tizón y malformaciones por lo que no pueden ser usadas en reforestación, ya que los técnicos de Comisión Nacional Forestal (INE-Conafor) al evaluar la calidad fitosanitaria de las plantas únicamente aceptan lotes con 20% de daño (González, 2004).

Las diferentes dosis *in vitro* de cloruro de benzalconio no permitieron el crecimiento bacteriano. Esto coincide con lo que reportan investigaciones de Ohio State University (1997), en donde usaron 620 ppm de cloruro de benzalconio en placas de papa dextrosa agar, y no existió la formación de UFC de las bacterias *Erwinia carotovora*, *Agrobacterium tumefaciens* y *Xanthomonas campestris*. Esta misma dosis se uso *in vitro* y campo para controlar al hongo *Alternaria* spp., que afecta a la planta *Tagetes erecta* L., en donde se logró 85% de inhibición del crecimiento del hongo *in vitro* y de 73% en campo (Robert, 2000). Este producto no muestra una buena acción para eliminar bacterias esporógenas como *Bacillus subtilis* cuando se usa una concentración de 0,5 mg/mL (Acosta *et al.,* 2001), la bacteria *Pseudomonas syringae* no forma este tipo de estructura de resistencia sino que sobrevive a condiciones adversas en restos de tejido vegetal y cánceres de la planta, por lo que debe destruirse y aplicarse el producto de manera preventiva. El cloruro de benzalconio al usarse *in situ* a dosis de 3 000 ppm (7 g/L) en plantas de *U. speciosa,* éstas presentaron 7,89% del área foliar dañada por la bacteria, el testigo 13,14%. Esto coincide con lo que mencionan Rodríguez y Jiménez (1999), al evaluar el Timsen contra *Colletotrichum gloeosporioides* en mango encontraron que el área del fruto fue de 6,98% al usar una dosis de 400 ppm una sola vez, contra el testigo que presentó 14% de área dañada; lo mismo encontraron Páez y Peña (2000) en mango contra este mismo hongo, a dosis de 620 ppm el área que presentó daño fue de 7,0% y en el testigo de 21%.

La bacteria *P. syringae* es la causante del síntoma tizón foliar que presenta el huésped comúnmente llamado ojo de venado *U. speciosa,* en campo presenta un 12,9% de incidencia y en invernadero de 36%; la bacteria es controlada por las 11 dosis de cloruro de benzalconio (0,005-1,3 g/L) *in vitro* ya que no presentó la formación de UFC. El mejor tratamiento *in situ* para controlar el tizón en el ojo de venado en invernadero fue de 3 000 ppm (7 g/L), en donde presentó un daño foliar de 17,33%.

REFERENCIAS

Acosta, E., A. Herrera y V.H. Mata. 2001. El cloruro de benzalconio. Salud Pública de México 43(6):499-573.

Barnett, H.L. y B.B. Hunter. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. 4a. ed. APS Press. 218 p.

Burke, H.R., J.A. Jackman y M. Ose. 1994. Insects associated with woody ornamental plant in Texas. Texas A&M University. Department of Entomology. http://entowww.tamu.edu/extension/publications/woody.html

Cerezo, H.V. 1998. Identificación de microorganismos presentes en *Azalea* spp., *Gardenia jasminoides*, *Ungnadia speciosa* así como el control químico de bacterias *in vitro*. Tesis de licenciatura. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. 53 p.

Coahuila, Banco de Semillas Forestales (s/f). http://www.coahuilatransparente.gob.mx/boletines/documentos-boletines/publicaciones%.

French, R.E. 1982. Métodos de investigación fitopatológica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica. 132 p.

González, C.A. 2004. Comunicación personal. Técnico Conafor Región VI Río Bravo. Saltillo, Coahuila, México.

Hugh, R. y E. Leifson. 1953. The taxonomic significance of fermentative *versus* oxidative metabolits of carbohydrates by various Gram-negative bacteria. L. Bacterial 66:24-26.

Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (INE-Semarnap). 1997. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Maderas del Carmen. 1a. ed. México. 512 p.

King, E.O., M.K. Ward y D.E. Raney. 1954. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein. J. Lab. Clin. Med. 44:301-307.

Lelliot, R.A, E. Billing y A.C. Hayward. 1966. A determinative scheme for fluorescence plant pathogenic bacteria. J. Appl. Bact. 29:470-478.

Lelliot, R.A. y D.E. Stead. 1987. Methods for diagnosis of bacterial disease of plants. Methods in plant pathology. Ed. T. F. U., Preece Vol. 2, Blackwell Scientific Publications Oxford, pp. 100-200.

Lipe, J.A. 1999. Deer resistent landscape plants. The Texas A&M University System. http://www.tpoint.net/neighbor/Deer.html.

Noval, A.C. 1998. Bacterias. Dirección General de la Sanidad de la Producción Agrícola. Manual de laboratorio. Diagnóstico de hongos, bacterias y nemátodos fitopatógenos. Madrid, España, pp. 118-148.

Ohio State University. 1997. Timsen research summary report. 5 p.

Ovad, V., K. Rudolph y K. Krohn. 1997. Serological classification of *Pseudomonas syringae* pathovares based on monoclonal antibodies towers the lipopolisaccaride O-chains, pp. 526-531. *In*, Rudolph, K., T. J. Burr, J. W. Mansfield, D. Stead, A. Vivian y J. von Kiestzell, eds. Developments in plant pathology, vol. 9: *Pseudomonas Syringae* pathovares and related pathogens. Kluwer Academia Publishers. Boston. 546 p.

Páez, R.A. y R. Peña. 2000. Manejo de antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) en la fase de poscosecha en mango c.v Vallenato. Patología de Frutas Tropicales y Poscosecha, Abstracts of the 46th annual meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, Miami Fl. EUA, pp. 112-115.

Rodríguez M., M.L. 2001. Manual para la identificación de bacterias fitopatógenas. UACh. Chapingo, Edo. de México. 119 p.

Rodríguez, N.S. y C. Jiménez. 1999. Efecto de benzoato de sodio y timsen en el control de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango. Resúmenes de los trabajos presentados en XVI Congreso Venezolano de Fitopatología. Barquisimeto,Venezuela. 72 p.

Robert, R. 2000. Identification and control of foliar spot pathogen in *Tagetes erecta* L. National Agricultural University, La Molina Phytopatolgy Speciality. Lima, Perú. 36 p.

Schaad, N.W., J.B. Jonas y W. Chun. 2001. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. 5a. ed. APS Press. Minnesota, EUA, 373 p.

Scortichini, M. 1997. *Pseudomonas syringae* pv *syringae* associated with decline in olive due to excess of magnesium. Informatore Fitopatologico 47(12):47-50.

Semarnap. 2005. Programa forestal y de suelo 1995-2000. Comisión Nacional Forestal. Gerencia de Geomática. México, D.F.

Smith, I.M., J. Dunez, D.H. Phillips, R.A. Lelliot y S.A. Arched. 2001. Manual de enfermedades de plantas. Ed. Mundi Prensa. 671 p.

Thornley, M.J. 1960. The differentiation of *pseudomonas* from other Gram-negative bacteria on the basis of arginine metabolism . J. Appl. Bacteriol. 23:27-52.

Manuscrito recibido el 29 de noviembre de 2007
Aceptado el 6 de marzo de 2009

Este documento se debe citar como: Galindo-Cepeda, M.E., M.A. Granillo-Chapa, M. Cepeda-Siller, L.A. Aquirre-Uribe, F.D. Hernández-Castillo y A. Flores-Olivas. 2010. Agente Causal del tizón foliar en *Ungnadia speciosa* Endl. (Sapindales: Sapindaceae) y la evaluación *in vitro* e *in situ* de un biocida. *Madera y Bosques* 16(1):5-15.

ARTICULO DE INVESTIGACION

Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental

Dendroclimatic potential of *Pinus pinceana* Gordon in the Sierra Madre Oriental

Miriam Santillán-Hernández[1], Eladio H. Cornejo-Oviedo[2], José Villanueva-Díaz[3], Julián Cerano-Paredes[3], Salvador Valencia-Manzo[2] y Miguel Ángel Capó-Arteaga[2]

RESUMEN

Se determinó la sensibilidad climática de *Pinus pinceana* Gordon y su potencial para reconstrucciones climáticas en diez de sus poblaciones localizadas en la región noreste (Zacatecas y Coahuila), norte-centro (San Luis Potosí) y centro (Hidalgo y Querétaro) de México. Se fecharon al año de formación de sus crecimientos anuales las poblaciones del noreste, centro-norte y centro de la república; excepto la población de El Arenalito en la cual no se encontró un patrón similar de crecimiento. En las poblaciones del centro (MAG, TEP y CRI) se encontraron los árboles más jóvenes y como resultado se generaron cronologías de corta extensión; en contraste, en los sitios PAL y NOR se encontraron los árboles de mayor edad. Los valores de correlación (0,61 a 0,77), sensibilidad media (0,49 a 0,69) y relación señal-ruido (11,72 a 33,64), fueron altos para las series dendrocronológicas generadas. Los parámetros estadísticos indican que *Pinus pinceana* es climáticamente sensible, además muestra un comportamiento similar a otras coníferas del norte de México empleadas en análisis dendrocronológicos previos. Con base en el análisis de función de respuesta (programa ARSTAN), se determinó que las poblaciones del noreste y centro-norte responden de manera significativa al periodo común de precipitación estacional enero-julio (estaciones invierno-primavera). Las poblaciones del centro no mostraron una respuesta significativa a la precipitación. La identificación de anillos con crecimiento reducido fue clave para encontrar patrones de crecimiento y realizar el fechado cruzado, básico para la generación de índices dendrocronológicos.

PALABRAS CLAVE:
Análisis de función de respuesta, anillos de árboles, dendroclimatología, sensibilidad climática media.

ABSTRACT

The climate sensitivity of ten populations of *Pinus pinceana* Gordon was determined to analyze their potential for climate reconstruction purposes. The *P. pinceana* populations are distributed along a latitudinal gradient of the Sierra Madre Oriental and for this study are considered as northeast region (Zacatecas, Coahuila), north-central region (San Luis Potosi), and central region (Hidalgo, Queretaro). All populations were dated to the year of the annual growth formation except a population called “El

1 Programa Docente de Postgrado en Ciencias Forestales. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. edafo96@hotmail.com.
2 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. cor61@prodigy.net.mx, svalencia@uaaan.mx, macapo@uaaan.mx.
3 Laboratorio de Dendrocronología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. villanueva.jose@inifap.gob.mx, cerano.julian@inifap.gob.mx.

Arenalito" in the central region. The youngest trees were found at populations in the central region (MAG, TEP, and CRI); therefore short tree-ring chronologies were developed for these sites. In contrast, for the northeastern region the populations PAL and NOR had the oldest trees and longer chronologies were developed for these sites. Intercorrelation values (0,61 to 0,77), mean sensitivity (0,49 to 0,69), and sign-to noise ratio values (11,72 to 33,64) are considered high for dendrochronological purposes. The statistic parameters derived from the ARSTAN software indicated that *P. pinceana* is climate sensitive and shows a similar behavior to other conifer species currently used for dendroclimatic studies in northern Mexico. Response function analysis indicated that the populations located in the northeast and north-central regions significantly responded to the seasonal January-June precipitation (winter-spring seasons), but the central populations did not show a clear response. Defining patterns of reduced annual growth are basic to date this species.

KEYWORDS:
Response function analysis, tree rings, dendroclimatology, mean climatic sensitivity.

INTRODUCCIÓN

Los dendrocronólogos se refieren al término sensibilidad como la capacidad que tienen los árboles de una región determinada para reflejar la variabilidad climática a través de las fluctuaciones en el grosor de sus anillos de un año al siguiente. Esta condición puede ser observada en series tomadas de un conjunto de árboles que habitan una misma área y que presentan los mismos patrones de crecimiento en la variación de sus anillos; cuando esto sucede, se dice entonces que los árboles responden al mismo factor climático; es decir, son climáticamente sensibles (Fritts, 1976).

Los registros de los anillos de los árboles de coníferas sensitivas al clima constituyen una fuente de alta resolución aproximada y pueden ser usados para extender registros de la precipitación y de otras variables climáticas más allá de los registros históricos a los que se tiene acceso, a través de la generación de series de tiempo dendrocronológicas (Fritts, 1976).

En México existe una gran diversidad biológica de especies sensibles con potencial dendrocronólogico. A pesar de ello, se ha generado poca investigación con relación a los anillos de crecimiento (Villanueva *et al.*, 2000), no obstante, que en la región noreste del país existen especies sensibles con alto potencial que son importantes para conocer la variabilidad climática en esta región (González-Elizondo *et al.*, 2005).

En la actualidad, los estudios dendrocronológicos han tenido un surgimiento en México debido a la importancia científica que reviste el conocimiento del cambio climático global, impacto de patrones de circulación atmosférica y su efecto en el ciclo hidrológico, y en la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos, de alto impacto en actividades productivas y para consumo humano en el norte de México (Villanueva *et al.*, 2007).

Las cronologías de anillos de árboles son particularmente importantes en nuestro país debido a que la mayoría de ellas están bien correlacionadas con la precipitación invernal y con los índices de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Stahle *et al.*, 2000). La influencia climática de ENSO se refleja en cronologías derivadas de coníferas del norte y noreste de México (Villanueva *et al.*, 2004). Las reconstrucciones climáticas pueden ayudar a definir el impacto histórico de este fenómeno en la región y ayudar a estimar la probabilidad de sequías extremas en el futuro (Pohl *et al.*, 2003).

La mayoría de los estudios dendrocronológicos en el noreste de México se han desarrollado principalmente con los géneros *Pinus* y *Pseudotsuga*, por lo que en este estudio se analiza el potencial de *Pinus pinceana* para determinar su sensibilidad climática y la factibilidad para desarrollar reconstrucciones dendroclimáticas.

Pinus pinceana es una especie de pino piñonero que constituye una comunidad natural importante en la región semiárida de la Sierra Madre Oriental de México, donde cohabita con otros piñoneros. La especie se distribuye en los estados de Nuevo León, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro.

Pinus pinceana es una especie endémica considerada como rara por la NOM-ECOL-059-2001 (Semarnat, 2004), y estudios dendrocronológicos pueden contribuir a desarrollar acciones para su conservación.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de reconstrucción climática de *Pinus pinceana* comparando las estadísticas básicas y la relación clima-crecimiento en un gradiente latitudinal de su distribución natural.

METODOLOGÍA

Las poblaciones estudiadas de *Pinus pinceana* se localizan en el centro y norte de la Sierra Madre Oriental; en el estado de Hidalgo se consideraron los rodales de San Cristóbal y El Arenalito; en Querétaro, El Tepozán y Maguey Verde; en Zacatecas, San José Carbonerillas y Cañón de las Bocas; en San Luis Potosí, Matehualilla y La Trinidad y en el estado de Coahuila, Palmas Altas y Norias (Figura 1).

Los sitios se muestrearon en el periodo de abril a diciembre de 2005; utilizando el muestreo selectivo, es decir, se seleccionaron individuos localizados en laderas con alta insolación, de apariencia longeva (Villanueva *et al*., 2005). Se extrajeron de uno a tres núcleos de crecimiento por árbol distribuidos en la periferia del fuste principal tratando de obtener la muestra lo más cercana al centro del árbol a una altura de 1,30 m empleando el taladro de Pressler. Las muestras se montaron en molduras de madera para facilitar su manejo, se pulieron con lijas de número 120 a 1 200 para una mejor diferenciación de los anillos de crecimiento. El fechado de las series de crecimiento se llevó a cabo a través de técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Holmes, 1983), en el laboratorio de dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA en Gómez Palacio, Durango. Fechadas las muestras, cada crecimiento individual se midió con un sistema Velmex a una resolución de 0,001 mm. La calidad del fechado y medición se verificó con el programa COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001).

Generadas las bases de datos de ancho de anillo, a cada una de las muestras se les removieron las tendencias biológicas como edad, competencia y liberación no relacionadas con clima, utilizando el programa ARSTAN, al ajustar diferentes curvas (exponencial negativa, lineal, etc.) según el crecimiento de cada uno de los árboles y luego dividir cada valor anual de medición entre el valor obtenido de la curva. Esto generó series de tiempo estandarizadas (Cook, 1987).

El programa ARSTAN generó tres cronologías denominadas: Estándar, Residual y Arstan. Para los análisis se empleó la cronología residual, normalmente utilizada para reconstrucciones climáticas, ya que mediante el proceso de su generación se elimina la autocorrelación (Fritts, 1976).

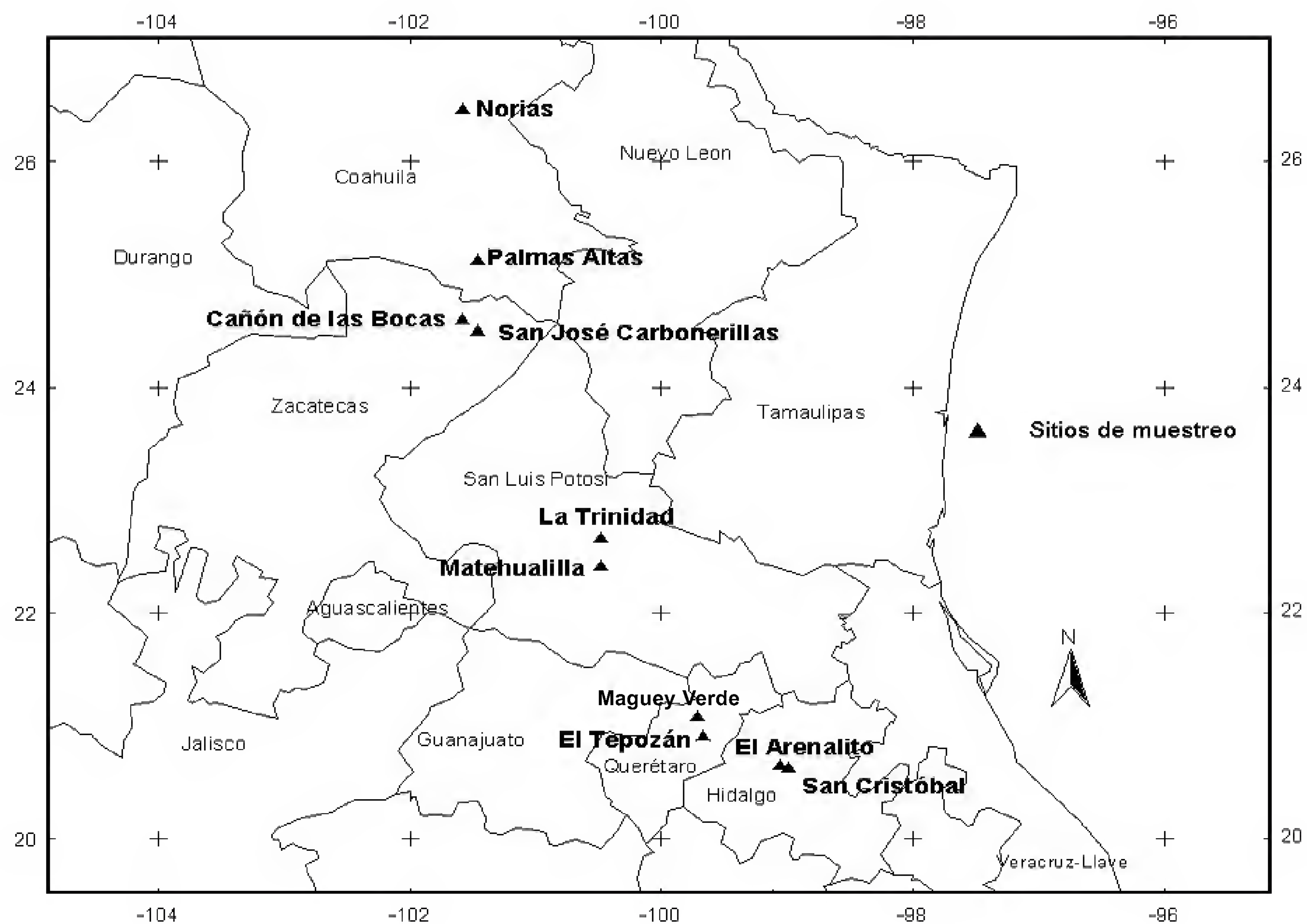


Figura 1. Ubicación geográfica de diez poblaciones estudiadas de *Pinus pinceana* Gordon en un gradiente latitudinal de la Sierra Madre Oriental; región noreste (Norias, Palmas Altas); región centro-norte (Cañón de las Bocas, San José Carbonerillas, La Trinidad y Matehualilla); región centro (Maguey Verde, El Tepozán, San Cristóbal, El Arenalito).

En función de los estadísticos de sensibilidad, correlación entre series, relación señal-ruido, autocorrelación de primer orden y desviación estándar generados por el programa ARSTAN, se determinó el potencial dendrocronológico de la especie para las diferentes poblaciones.

Para conocer la variabilidad común entre las diferentes poblaciones de *Pinus pinceana* se corrió un análisis de componentes principales mediante el uso del programa Statistica Kernel versión 5.5 (Stat Soft Inc., 2000); las cronologías de las diferentes poblaciones se agruparon en dos componentes, las poblaciones del norte que comprenden los estados de Coahuila, Zacatecas y San Luis Potosí presentan una misma variabilidad común (CP1), de igual manera las cronologías del centro que comprenden los estados de Hidalgo y Querétaro presentaron una misma variabilidad común (CP2). Dado lo anterior, se optó por trabajar con cronologías regionales por estado tanto para el norte como para el centro del país.

La respuesta climática o potencial de la especie para registrar la variabilidad de la precipitación se determinó mediante una función de respuesta, al correlacionar 49 años de datos instrumentales regionales que comprenden el periodo de 1950 a 1998, con los índices regionales de anillo generados para Coahuila, Zacatecas y San Luis Potosí. Los datos instrumentales de las estaciones meteorológicas se extrajeron de la base de datos ERIC II; las estaciones utilizadas fueron, dos localizadas en Coahuila (Sabinas y Viesca) y dos de San Luis Potosí (San Luis Potosí y Manantial de Media Luna) para la parte norte (Tabla 1). Para la parte centro, cronologías regionales de Hidalgo y Querétaro, se correlacionaron con datos climáticos de la estación Peñamiller, Querétaro, con 41 años de registro que comprenden el periodo de 1961 a 2001 (Tabla 1). Las estaciones climáticas se seleccionaron de acuerdo con su cercanía a los sitios de muestreo, la calidad de los datos registrados y su correlación con la cronología.

Finalmente, la relación se verificó con el programa PRECON que comprende un análisis de regresión múltiple, corriendo primeramente un “stepwise multiple regression” para la obtención de los componentes principales de las variables climáticas y finalmente un “bootstrap multiple regression” sobre los componentes para la estimación de los intervalos de confianza. En el análisis se consideraron 14 meses de precipitación, que se extiende de julio del año previo a agosto del año actual de crecimiento; el cual se realiza con la finalidad de observar la influencia en el crecimiento de las condiciones climáticas de meses del

Tabla 1. Estaciones climáticas cuyos registros fueron empleados para correr la función de respuesta con las cronologías regionales.

Regiones	Estados	Estaciones climáticas	Longitud (O)	Latitud (N)	Periodo de datos
Norte	Coahuila	Sabinas	-101,283	27,867	1941-2000
		Viesca	-102,800	25,350	1940-1973
	San Luis Potosí	S. L. P.	-100,967	22,150	1949-2002
		Manantial de Media Luna	-100,017	21,850	1979-2002
Centro	Querétaro	Peñamiller	-99,814	21,055	1961-2001

año anterior en el crecimiento del año en curso, procedimiento estadísticamente más confiable que un simple análisis de correlación (Fritts, 1990).

RESULTADOS

Problemas de fechado con *Pinus pinceana*

El fechado de la población ARE no fue posible, debido a que no se encontró un patrón definido en su crecimiento. En algunos sitios uno de los principales problemas encontrados para el fechado fue el porcentaje de anillos ausentes. En este aspecto, los sitios de la región centro-norte tuvieron los más altos porcentajes de anillos perdidos con 3,68% y 3,53% para las poblaciones TRI y MAT, respectivamente; ambas pertenecientes al estado de San Luis Potosí. La población NOR en Coahuila mostró el menor valor (0,43%) de anillos ausentes (Tabla 2).

Las poblaciones que presentaron problemas de anillos falsos fueron ARE con 12%, CRI con 10% y TEP con 2%; situación que dificultó la generación de los índices dendrocronológicos para estos sitios (Tabla 2).

Las poblaciones CAN, CAR, MAT y TRI presentaron gran cantidad de microanillos, aunque no se realizaron conteos específicos para determinar el porcentaje que estos representan.

Con la excepción de dos de los sitios de la región centro, El Tepozán en el estado de Querétaro y San Cristóbal en el estado de Hidalgo, cuyas series generadas fueron de 57 y 49 años respectivamente, el resto de las cronologías se extiende en el tiempo por más de 100 años, destacando los sitios de Palmas Altas en Coahuila y San José Carbonerillas en Zacatecas como las series más longevas, 205 y 157 años, respectivamente.

Tabla 2. Problemas detectados en el fechado de las series de crecimiento de diez poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon en su rango de distribución natural.

Región	Estado	Población	Total de muestras fechadas	Longitud de las series	Anillos ausentes (%)	Anillos falsos (%)
Noreste	Coahuila	NOR	43	106	0,43	0
		PAL	25	205	2,26	0
Centro-norte	Zacatecas	CAN	46	125	1,27	0
		CAR	43	157	2,93	0
	San Luis Potosí	MAT	33	125	3,53	0
		TRI	49	131	3,68	0
Centro	Querétaro	MAG	16	135	2,68	0
		TEP	6	57	0,00	2
	Hidalgo	CRI	14	49	0,00	10
		ARE	0	0	0,00	12

De igual manera, es importante señalar que en estos sitios existe el potencial para incrementar la extensión de las cronologías, enfocándose a la búsqueda de arbolado longevo, toma de muestras de tocones y madera sobre el piso forestal o semienterrada.

Potencial dendrocronológico de *Pinus pinceana*

Se determinó el potencial dendrocronológico de *Pinus pinceana* mediante el análisis de series de crecimiento, logrando analizar el mayor número de series en la región centro-norte. En las poblaciones TRI y CAN se fecharon 49 y 46 series, respectivamente. La menor cantidad de series se analizó para la región centro en TEP y CRI con 6 y 14 series, respectivamente (Tabla 3).

Los estadísticos derivados del análisis de ARSTAN que definen la calidad de la información climática obtenida de las cronologías de *Pinus pinceana* son la correlación, sensibilidad media, desviación estándar, relación señal-ruido y autocorrelación de primer orden (Holmes, 1983; Cook, 1987).

Los valores más altos de correlación se encontraron para el sitio PAL en la región noreste con un valor 0,77. En la región centro-norte se encontraron valores de 0,74 y 0,69 en CAN, MAT y TRI, respectivamente. En el centro se registraron valores de 0,75 y 0,63 para CRI y TEP, en ese orden (Tabla 3).

Las poblaciones de la región centro-norte mostraron valores de 0,69, de 0,64 y 0,61 para los sitios MAT, TRI y CAR, respectivamente; los sitios NOR (para el noreste) y TEP (para el centro) indicaron valores de 0,53 y 0,51, respectivamente (Tabla 3).

La desviación estándar fue mayor en la parte centro del rango de distribución de *Pinus pinceana* con un valor de 0,47 para CRI y de 0,46 para PAL. La población NOR ubicada en el noreste indicó un valor de 0,32 (Tabla 3).

La autocorrelación indicó similitud entre las series de crecimiento; de esta manera se obtuvieron valores de 0,20 a 0,29 para las poblaciones TRI y CAR ubicadas en el centro-norte y noroeste. Este parámetro fue muy variable para la parte centro, con valores de 0,09 a 0,39 en TEP y CRI, respectivamente (Tabla 3).

La especie registró valores de señal-ruido de 34,63 a 33,64 para los sitios CAR y CAN. Este parámetro decreció para los sitios MAG y TEP con valores de 1,35 y 11,72 respectivamente (Tabla 3).

Función de respuesta

En la región noreste se encontró que los meses de diciembre, febrero, mayo y julio respondieron de manera significativa ($p<0,05$) al crecimiento de la especie, mientras que los meses de enero, marzo, abril y agosto influyen de manera positiva aunque no significativa ($p>0,05$) (Figura 2a).

En la región centro-norte los meses que influyeron de manera significativa ($p<0,05$) fueron diciembre del año previo al crecimiento y enero, febrero, marzo, mayo y julio del año actual de crecimiento; abril influye de manera positiva pero no significativa ($p>0,05$) en el crecimiento (Figuras 2b y 2c).

El análisis de función de respuesta para las poblaciones del noreste y centro-norte muestra una misma respuesta significativa ($p<0,05$) para los meses de diciembre del año previo y febrero, marzo, mayo, julio y agosto del año actual de crecimiento; los meses de enero, abril

Tabla 3. Estadísticas básicas de la cronología residual para diez poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon en su rango de distribución natural en el centro y noroeste de México.

Región	Estado	Población	Muestras fechadas[1]	Correlación[2]	Sensibilidad promedio[3]	Desviación estándar[4]	Autocorrelación de primer orden[5]	Relación señal-ruido[6]
Noreste	Coahuila	NOR	43	0,61	0,53	0,32	0,21	14,69
		PAL	25	0,77	0,59	0,46	0,28	30,02
Centro-norte	Zacatecas	CAN	46	0,74	0,49	0,36	0,27	33,64
		CAR	43	0,72	0,61	0,42	0,29	34,63
	San Luis Potosí	MAT	49	0,69	0,69	0,45	0,27	28,90
		TRI	33	0,69	0,64	0,45	0,20	29,41
Centro	Querétaro	MAG	16	0,69	0,56	0,43	0,23	11,72
		TEP	6	0,63	0,51	0,38	0,09	1,35
	Hidalgo	CRI	14	0,75	0,56	0,47	0,39	15,83
		ARE	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

NOR = Las Norias; PAL= Palmas Altas; MAT = Matehualilla; TRI = La Trinidad; CAN = Cañón de las Bocas; CAR = San José Carbonerillas; MAG = Maguey Verde; TEP = El Tepozán; CRI = San Cristóbal.

1 Número de muestras analizadas por sitio.
2 Correlación mide la intensidad del signo en común (la señal climática) en la cronología.
3 Sensibilidad media determina la diferencia relativa en el ancho de los anillos de un año al siguiente; este valor varía de 0 a 2, donde 0 indica que no existe diferencia en el grosor de un anillo al siguiente, el valor de 2 se refiere a que uno de los dos anillos comparados en una secuencia de serie de tiempo tiene un crecimiento nulo.
4 Desviación estándar es una medida de la variación de los datos alrededor de la media.
5 Autocorrelación de primer orden se refiere a la relación que existe entre el anillo de un año particular t con la del anterior t-1 o con la del siguiente t+1; refleja la variación de baja frecuencia y es producida por el efecto retardado de condiciones climáticas favorables o desfavorables que siguen afectando directa o indirectamente al árbol, aún después del año en que se presentan.
6 Relación señal-ruido es una medida de la varianza producida exclusivamente por condiciones climáticas, la tendencia de los patrones de crecimiento controlado principalmente por condiciones climáticas puede tener una relación señal-ruido alta. La relación señal-ruido puede ser pequeña si la tendencia en crecimiento está influenciada por factores no climáticos que afectan individualmente a los árboles como es la competencia o disturbios (fuego, tala, insectos, plagas).

y junio muestran una respuesta no significativa (p>0,05). Sin embargo, al realizar un análisis por periodos, se encontró que ambas regiones muestran una respuesta significativa (p<0,05) para el periodo de precipitación estacional enero-julio, lo que indica que el crecimiento de la especie en esta parte de la República Mexicana está influenciado por el periodo de precipitación invierno-primavera (Figura 2).

La respuesta de la especie en la región centro no presentó un periodo de lluvia común que defina su crecimiento; el análisis de función de respuesta para la población de Maguey Verde, Querétaro, mostró que los meses de enero, mayo y agosto se relacionan de manera significativa (p<0,05) con el crecimiento; los meses de marzo y abril presentan una influencia positiva, aunque no significativa (p>0,05); mientras que los meses de febrero, junio y julio se relacionan de manera negativa (Figura 3a).

De manera similar para el sitio de San Cristóbal, Hidalgo, no se definió un periodo de lluvia estacional que influya de manera significativa en el crecimiento de la especie, únicamente el mes de diciembre del año anterior fue significativo; los meses posteriores correspondientes al año de crecimiento no mostraron una respuesta significativa (Figura 3b).

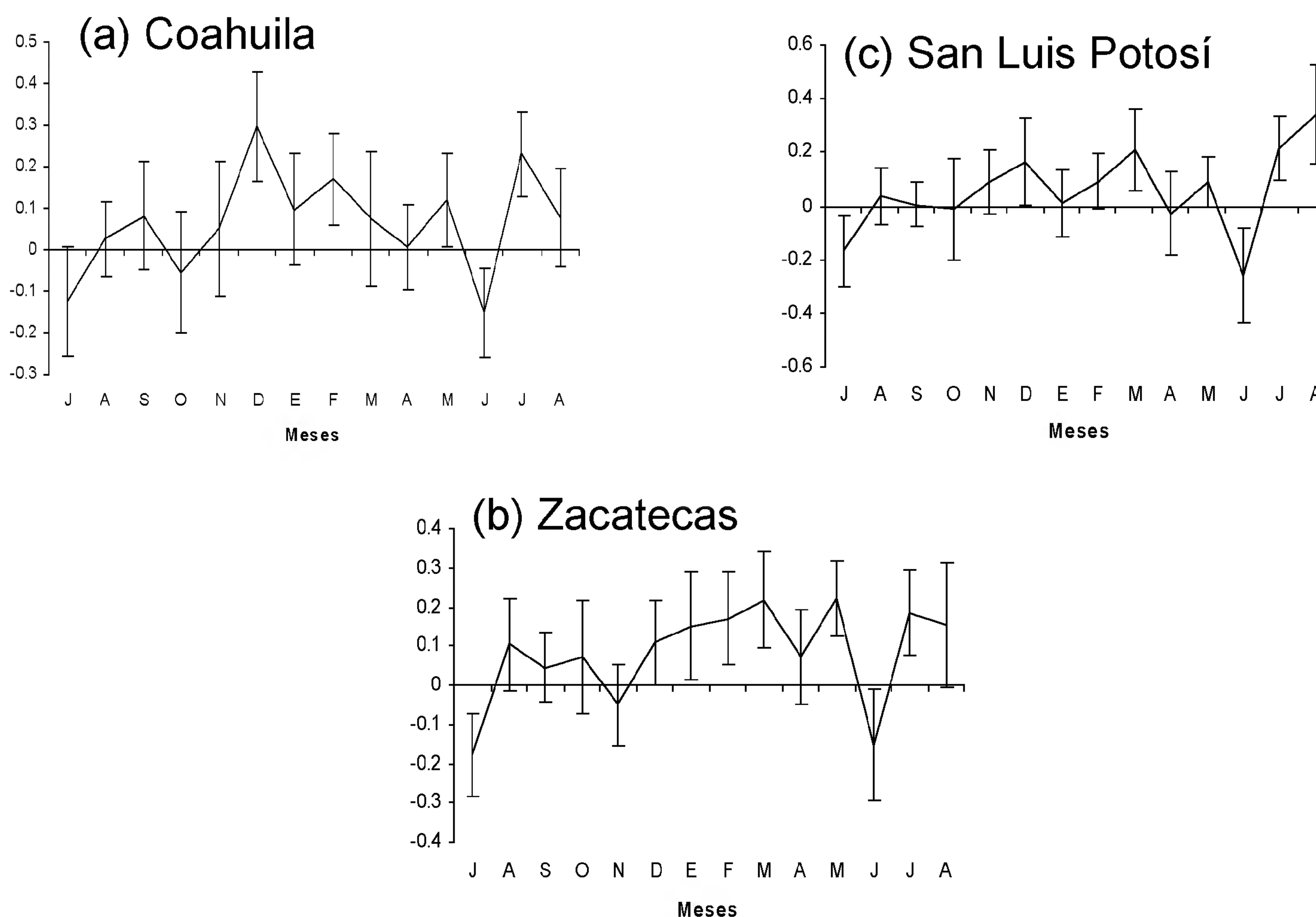


Figura 2. Función de respuesta para poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon en tres estados del norte de México. En cada uno de los estados se comparó la cronología regional (dos poblaciones), dado que presentan una misma variabilidad, con los datos regionales de precipitación.

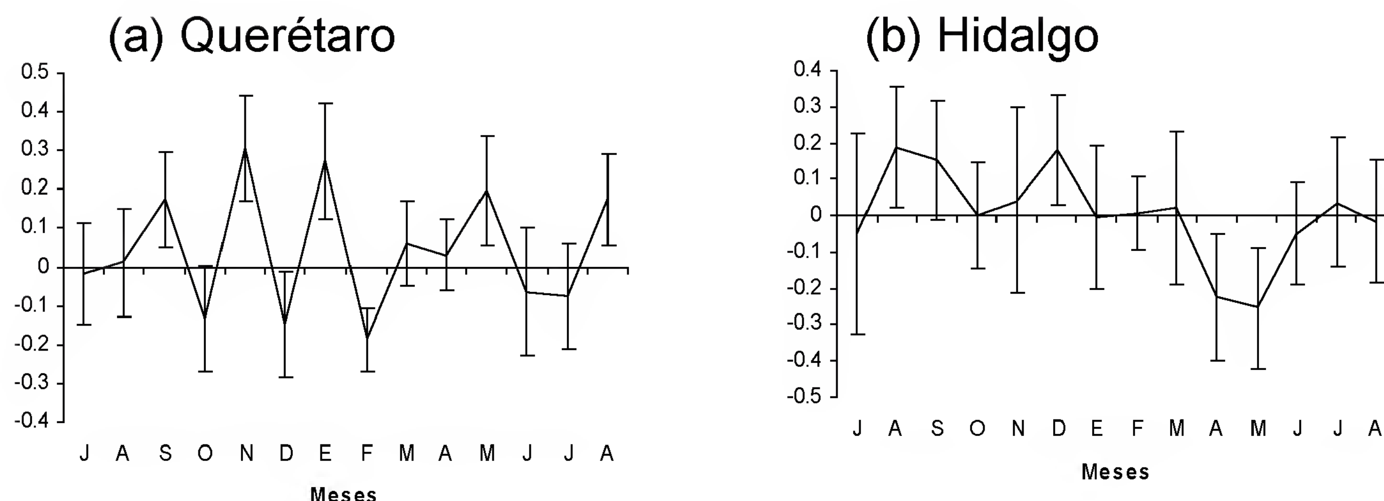


Figura 3. Función de respuesta para dos poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon en el centro de México. Se comparó la cronología regional del estado de Querétaro y la cronología de San Cristóbal del estado de Hidalgo con datos de la estación climática Peñamiller. (a) Indica que no existe un periodo de precipitación que defina el crecimiento de la especie; sólo los meses de enero, mayo y agosto son significativos ($p<0,05$). (b) Indica que sólo el mes de diciembre del año anterior tiene una relación significativa ($p<0,05$) con el crecimiento de la especie. El periodo enero-agosto no presenta una correlación significativa ($p>0,05$).

DISCUSIÓN

La información estadística obtenida de las poblaciones de la región centro-norte (MAT, TRI, CAN y CAR) de México indica un alto potencial de la especie para estudios dendrocronológicos; lo anterior fundamentado en la alta calidad de los parámetros estadísticos que reflejan claramente la influencia de las condiciones climáticas y se expresan en la variabilidad en el grosor de sus anillos de crecimiento.

La información obtenida de árboles de *Pinus pinceana* de los sitios del noreste y centro-norte presenta un comportamiento similar a la de piñoneros y otras coníferas del norte de México que actualmente son empleadas en estudios dendrocronológicos; tal como lo demuestran los resultados de los parámetros estadísticos para *Pinus cembroides* y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Cerano, 2004; González-Elizondo *et al.*, 2005; Constante, 2007; Villanueva *et al.*, 2007).

Los valores de correlación obtenidos para la población PAL (0,77), son iguales a los determinados por Cerano (2004) con *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco para los sitios La Viga, El Coahuilón y Los Pilares en Sierra de Arteaga, Coahuila.

Valores de correlación de (0,74 a 0,61) en las poblaciones restantes de *Pinus pinceana* de la región centro-norte y noreste son similares a lo encontrado por Constante (2007) en *Pinus cembroides* (0,72) en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila y Villanueva *et al*. (2005) con *Pseudotsuga menziesii* (0,73) en Bisaloachi, Chihuahua, cuyas series permitieron reconstruir la variabilidad climática.

Los resultados obtenidos de sensibilidad media principalmente para las poblaciones MAT y TRI (0,69 y 0,64) fueron superiores a los calculados por Cerano (2004) para El Tarillal (0,47) y al de González-Elizondo *et al.* (2005) para el

sitio Cerro Banderas, Durango (0,38) con *Pseudotsuga menziesii*. En función de estos resultados los valores de sensibilidad media se consideran óptimos con fines de reconstrucciones de la variabilidad climática regional.

En general los valores de desviación estándar en los sitios del noreste NOR (0,32) y centro-norte en TRI (0,45) son similares a los del Coahuilón (0,32), El Tarillal (0,45) (Cerano, 2004) y Cuauhtémoc (0,30) (Constante, 2007).

La autocorrelación de primer orden no mostró gran diferencia entre sitios, los valores extremos en NOR (0,21) y CAN (0,29) indican que este parámetro se encuentra dentro del límite aceptable con fines dendrocronológicos, al compararlos con valores de este parámetro para la cronología de *P. menziesii* en sitios como La Viga (0,46) y Bisaloachi (0,19) (Cerano, 2004; Villanueva *et al.,* 2007).

Los resultados de la relación señal-ruido son similares entre los sitios del noreste y centro-norte (34,63 a 28,90) considerados altos en el intervalo de valores reportados para El Coahuilón (0,52) y El Tarillal (23,88). No obstante que NOR presentó el valor más bajo (14,69), un valor inferior se reportó para El Tarillal (11,93) y Cerro Barajas (10,8) y sin embargo, tiene potencial con fines dendrocronológicos (Cerano, 2004; González-Elizondo *et al.,* 2005).

El análisis de función de respuesta para *Pinus pinceana* mostró que los crecimientos de la especie en estas áreas responden de manera significativa a la precipitación estacional de enero-julio. Esto se atribuye a que en el norte de México el crecimiento de las coníferas se encuentra influenciado por la precipitación del periodo frío del año, al ser las lluvias de este periodo de baja intensidad, no logran sobrepasar la capacidad de infiltración, por lo que gran parte de ella se almacena en el suelo y puede ser aprovechada durante el inicio de la estación de crecimiento (Villanueva, 2006).

Esto queda corroborado a través de los estudios dendrocronológicos generados para diversas coníferas en el norte de México, donde se demuestra que especies como *Pinus cembroides* y *Pseudotsuga menziesii* responden de manera significativa a la precipitación invierno-primavera (Stahle *et al.*, 2000; Pohl *et al.*, 2003; Cerano, 2004; González-Elizondo *et al.*, 2005; Constante, 2007).

Los valores obtenidos de los parámetros considerados para el análisis del potencial dendrocronológico de la especie, indicaron que las poblaciones de la región centro MAG, TEP y CRI son sensibles al clima, derivado de los valores de correlación (0,69), sensibilidad media (0,54), desviación estándar (0,43) y autocorrelación de primer orden (0,24); no obstante que sus valores de relación señal-ruido se encontraron por debajo de los observados en los sitios localizados al norte. De acuerdo con González-Elizondo *et al.* (2005) y Fritts (1976), este parámetro indica que el crecimiento de la especie se encuentra influenciado además por otro tipo de factores ambientales o antropogénicos que están afectando a los árboles de manera individual, a lo que se atribuye el que no se haya determinado un periodo de precipitación anual que influya de manera significativa en el crecimiento de la especie para las poblaciones del centro. A excepción de la población CRI que presenta un valor de señal-ruido más alto, señalando mayor potencial dendroclimático y que con un análisis más detallado de información climática pudiera analizarse el periodo de precipitación que determina el crecimiento de la especie en esta población.

CONCLUSIONES

La especie *Pinus pinceana* mostró alto potencial para estudios dendroclimatológicos, particularmente las poblaciones de la región centro-norte y noreste de México. Este potencial se fundamenta en valores altos de correlación, sensibilidad media, desviación estándar, relación señal-ruido y baja autocorrelación de primer orden.

El crecimiento de *Pinus pinceana* (región noreste y centro-norte) al igual que otras coníferas del norte de México responde de manera significativa al periodo de precipitación estacional invierno-primavera.

El crecimiento de las poblaciones de la región centro (MAG y CRI) se encuentra influenciado en cierto grado por factores climáticos como lo demostró su alta correlación, sensibilidad y desviación estándar; sin embargo, la baja relación señal-ruido es atribuible al bajo número de muestras analizadas, es recomendable aumentar el tamaño de muestra y observar el comportamiento de esta variable.

El estudio dendroclimático de coníferas sensibles al clima, especialmente *Pinus pinceana* distribuido en la zona semiárida del noreste de México, constituye una alternativa para extender en el tiempo la información climática, particularmente si consideramos la falta de datos instrumentales, lo que limita un análisis de la disponibilidad de los recursos hídricos y su variabilidad en el tiempo en estas regiones con fines de manejo. La presencia de árboles de *Pinus pinceana* con edades superiores a los 200 años, sensibles climáticamente y al existir la posibilidad de extender en el tiempo las cronologías, pudiera contribuir a fundamentar programas abocados a su conservación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por la beca otorgada para los estudios de maestría en ciencias forestales. Al fondo sectorial Semarnat-Conacyt-2002-Co1-1429 por el apoyo en el trabajo de la etapa de campo. Al personal del laboratorio de dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA; ingeniero Julián Cerano Paredes, ingeniero Roque Morán y especialmente a la ingeniera Vicenta Constante García. Finalmente, a los ingenieros Armando Gómez López y Sinhué Ortega Jiménez por su apoyo en laboratorio.

REFERENCIAS

Cerano, P.J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 152 p.

Constante, G.V. 2007. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para los últimos cuatro siglos en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 72 p.

Cook, E.R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Tree-Ring Bulletin 47:37-59.

Fritts, H.C. 1976. Tree-rings and climate. Academic Press. Nueva York. pp. 254-260.

Fritts, H.C. 1990. Statistical reconstruction of spatial variations in climate. *In*, Cook E., Kairiukstis L. (eds.), Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 193–210

González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Návar, M.S. González-Elizondo, J. Villanueva-Díaz, O. Aguirre. y J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: a 1681-2001 rain reconstruction. Forest Ecology and Management (213):39-53.

Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree-Ring Research 57(2):205-221.

Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin 43:69-78.

Pohl, K., M.D. Therrell, J.S. Blay, N. Ayotte, J.J. Cabrera, S.C. Díaz, E.O. Cornejo, J.A. Elvir, M.E. Gonzalez, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S.S. Bernal, L.S. Vazquez, J. Villanueva-Díaz y D.W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. Tree-Ring Research 59(1):11-19.

Semarnat. 2004. NOM-ECOL-050-2001. http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/sedesol_nom_059_ecol_2004.pdf

Stat Soft Inc. 2000. Statistica Kernel versión 5,5 A. 1984-2000.

Stahle, D.W., J. Villanueva-Díaz, M.K. Cleveland, M.D. Therrell, G.J. Paull, B.T. Burns, W. Salinas, H. Suzán y P.Z. Fule. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. In F.A. Roig (comp.), Dendrocronología en América Latina. EDIUNC. Argentina. pp. 285-306.

Stokes M.A. y T.L. Smiley. 1968. An introduction to the tree-ring dating. The University of Arizona Press. 73 p.

Villanueva, D.J., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland y M.D. Therrell. 2000. Estado actual de la dendrocronología en México. Ciencia Forestal 25(88):5-36.

Villanueva, D.J., J. Cerano-P., D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland e I.C. Sánchez. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto técnico No. 2. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 37 p.

Villanueva, D.J., J. Cerano-P., D.W. Sthale, M.D. Therrel, M.K. Cleaveland y B.H. Luckman. 2005. Estudios paleoclimáticos en México utilizando anillos de crecimiento de especies arbóreas. Capítulo I. Libro técnico No. 1. Contribución al estudio de los servicios ambientales. Sagarpa, INIFAP. pp. 7-32.

Villanueva, D.J., D.W. Stahle, B.H. Luckman, J. Cerano-P., M.D. Therrell, R. Morán, M.L. Cleaveland. 2007. Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. y acciones para su conservación en México. Ciencia Forestal 32(101):9-37.

Manuscrito recibido el 21 de abril de 2008
Aceptado el 6 de abril de 2009

Este documento se debe citar como: Santillán-Hernández, M., E.H. Cornejo-Oviedo, J. Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, S. Valencia-Manzo y M.A. Capó-Arteaga. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16(1):17-29.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango

Economic valuation of the hydrological environmental services in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango

Ramón Silva-Flores[1], Gustavo Pérez-Verdín[2] y José de Jesús Návar-Cháidez[3]

RESUMEN

En este trabajo se estimó la disponibilidad a pagar (DAP) para preservar las fuentes de aprovisionamiento de agua y la disponibilidad a aceptar el pago (DAA) por los dueños de los terrenos que proveen el servicio ambiental hidrológico (SAH) en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Se aplicaron encuestas tanto a usuarios del servicio de agua potable, para estimar la DAP, como a los propietarios de los terrenos donde se encuentra la fuente principal de provisión del agua, para estimar la DAA. Se calculó el costo total de producción del servicio, usando los métodos de valoración de captación y recuperación, y se comparó con los resultados de la DAP y DAA. También se cuantificaron los costos de las actividades de protección y abastecimiento del agua; además de la producción de agua en la cuenca por medio de un balance de masas. Los resultados muestran que la microcuenca produce en promedio 2,10 Mm^3/año. El 90% de los usuarios está dispuesto a realizar un pago por el SAH de $17,18 por mes. Asimismo, los propietarios del terreno están dispuestos a aceptar un pago de $320,00 por mes ($5,26/ha/año) como compensación por favorecer la captación y almacenamiento del agua en la microcuenca. Las diferencias entre DAP y DAA coinciden con la mayoría de los estudios, donde la DAP es por lo general menor a la DAA. El costo promedio total de producción de agua es de $2,49/$m^3$ de agua para el año inicial y de $2,09/$m^3$ para los nueve años siguientes. El valor total de la DAP, basada en el número de viviendas en la población de El Salto, no es suficiente para cubrir los costos. Programas externos de apoyo, como pago por captura de carbono, subsidios por los gobiernos, etc., pueden ayudar a reducir las diferencias entre la DAP y los costos de producción.

PALABRAS CLAVE:
Costos de producción, método de valoración contingente, microcuenca La Rosilla, servicios ambientales, valoración hidrológica.

ABSTRACT

This research explored willingness to pay (WTP) and willingness to accept (WTA) payment for conserving water supplies in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Personal interviews were applied to both El Salto water users to estimate WTP and land resource owners to estimate WTA. Production costs were estimated at the watershed "La Rosilla" near El Salto. The production costs included storage, protection, restoration and water supply to El Salto residents. In addition, production of water was estimated using a mass balance approach. The results showed that the watershed produces on the average 2,10 Mm^3/year. About 90% of the water users surveyed in the study were willing to pay

1 Consultor, Prestadores de Servicios Técnicos Forestales. Durango, Durango, México.
2,3 CIIDIR-IPN Unidad Durango. Sigma No 119. Fracc. 20 de Noviembre II. Durango, México. 34220. jnavar@ipn.mx.

for the environmental hydrological service an average of $17,18 for month. Likewise, resource owners were willing to accept about $320,00 for month ($5,26/ha/year) as a compensation to forgo forest harvest and stimulate water production. Differences between WTP and WTA coincide with many other studies that indicate WTA is larger than WTP. Average production cost was estimated at $2,49/m^3 of water for the first year and $2,09/m^3 for the remaining years over a 10-year planning period. The cumulative WTP, based on the number of households of El Salto, would not be enough to pay for all production costs. Other external programs such as carbon sequestration and government subsidies, etc., are necessary to reduce the gap between estimated WTP and production costs.

KEY WORDS:
Production costs, contingent valuation, La Rosilla watershed, environmental services, hydrologic valuation.

INTRODUCCIÓN

La sociedad ha estado preocupada por la regularidad en el servicio del agua en la mayoría de las ciudades del mundo árido y semiárido, por el manejo que se le da a las principales fuentes de abastecimiento y por el manejo de los embalses, entre otros aspectos relacionados con este compuesto vital. A pesar de estas preocupaciones, no existen muchos trabajos para entender la problemática de la producción de agua ni la valoración cuantitativa del servicio ambiental.

A partir de la Cumbre de Río de Janeiro se han iniciado diversos estudios relacionados con el desarrollo sustentable. La valoración económica y la generación de mercados para los servicios ambientales son unas de las estrategias para alcanzar la sustentabilidad. El mercado de servicios ambientales ofrecidos por el bosque está creciendo rápidamente, en muchos casos fomentado por políticas nacionales y regionales, y en otros por convenios y tratados internacionales (FAO, 2005). Rosa *et al.* (2004), señalan que en México se encuentran condiciones favorables para el desarrollo de iniciativas que busquen valorar los servicios ambientales y beneficien a las comunidades rurales. Mencionan como un gran potencial en el país, la captura del carbono, la diversidad genética, los grandes escenarios o atractivos naturales y el servicio ambiental hídrico.

En el 2003, el gobierno mexicano abrió las puertas para el pago de servicios ambientales hidrológicos (SAH) en áreas con importancia hídrica estratégica. El objetivo principal fue el de proveer incentivos económicos para reducir la deforestación en áreas con problemas severos de abasto de agua causados por el cambio de uso del suelo (Muñoz-Piña *et al.*, 2008). Este programa, que consiste en pagos directos a los propietarios de terrenos forestales con cubierta vegetal arbórea, se ha venido aplicando en varias regiones del país con resultados modestos en cuanto al mercadeo de este servicio. Debido a que el gobierno actúa como intermediario entre los proveedores o propietarios del bosque (productores) y el público en general (consumidores), el mercado para estos bienes no sigue los fundamentos de la economía clásica. El gobierno, como único comprador de los servicios ambientales y al mismo tiempo gestor del manejo forestal, hace que estos servicios sean centralizados y manejados en un ambiente monopsónico (Muñoz-Piña *et al.*, 2008). El gobierno tiene un control especial sobre el precio de los productos y los proveedores del servicio tienen que adaptarse de alguna forma a las exigencias del gobierno en materia de precio y cantidad. Otras formas de negociación son entonces necesarias para corregir esta falla del mercado y dejar a los propios actores reconocer el problema de abasto del agua, valorar el recurso y, en su caso, compensar a los proveedores. Un

ejemplo es la participación de la sociedad, que como usuaria y consumidora principal de estos recursos debe considerar la situación de escasez del agua y contribuir activamente en el uso racional de ese recurso. Ejemplo de ello es la participación de los residentes de El Salto, P.N., Durango, donde sociedad y gobierno han iniciado una serie de procedimientos para remediar el problema de abasto del agua que por muchos años ha experimentado esta población situada en la Sierra Madre Occidental.

Los residentes de El Salto se abastecen de agua de la microcuenca La Rosilla, ubicada en terrenos forestales del ejido La Victoria. En el año 2000 a iniciativa de la presidencia municipal se construyó la presa La Rosilla II para almacenar el agua que serviría para abastecer a los habitantes de El Salto. Actualmente los resultados no son los deseables en cuanto a la regularidad y a la calidad en el servicio de abasto de agua, debido en buena parte a la falta de control en el almacén de agua de la presa y a la deficiente infraestructura para su distribución. Desde la construcción de la presa, el servicio de agua a la población de El Salto se ha visto comprometido por la falta de agua, por el mal manejo de los servicios de distribución y, en muchos casos, por una falta de concientización o educación en el correcto uso del agua.

En esta investigación también se estimó, a través del balance hidrológico, el almacén de agua de la presa La Rosilla II y la valoración económica de la oferta de agua de la microcuenca. Se calculó el almacén del embalse de la presa La Rosilla II para valorar económicamente el SAH y se evaluó la percepción y disponibilidad de los consumidores para compensar a los dueños de los terrenos donde se capta el agua que abastece a la población de El Salto.

OBJETIVOS

Los objetivos específicos son: *a)* estimar la oferta de agua de la microcuenca La Rosilla, *b)* estimar la disponibilidad de pago por parte de los consumidores en la población de El Salto y *c)* estimar la disponibilidad de aceptar el pago por parte de los proveedores del servicio ambiental hidrológico.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio

En el ejido La Victoria se asienta una parte importante de la localidad El Salto, cuya población que se beneficia del SAH asciende a 21 793 habitantes (INEGI, 2005). La superficie de la microcuenca es de 944 ha y se ubica aproximadamente a 6 km de El Salto (Figura 1). El ejido es un núcleo agrario dotado por resolución presidencial el 18 de mayo de 1961 conformado por 98 ejidatarios. Se ubica en la región hidrológica núm. 11 (Presidio-San Pedro) en la vertiente del Pacífico, en la parte alta de la cuenca del río Presidio. La presa La Rosilla II construida sobre el cauce del arroyo La Rosilla se ubica a su vez en la microcuenca RH11Dc04-028. Esta corriente de agua, después de cruzar El Salto, recibe el nombre de quebrada El Salto, para posteriormente convertirse en el río Presidio (CFE, 1998).

La vegetación en la mayor parte del ejido está formada por bosques de pino-encino. Las principales especies de pino son *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. teocote*, *P. herrerae*, *P. leiophylla* y *P. ayacahuite*. Las especies más representativas de encinos son *Quercus sideroxyla*, *Q. durifolia*, *Q. rugosa* y *Q. candicans*. Existen otras coníferas como *Juniperus* spp., *Cupressus* spp., *Pseudotsuga* spp. y *Abies* spp. Dentro de las latifoliadas se encuentran especies de los géneros *Arbutus*

y *Alnus*. En el estrato inferior de los bosques, la manzanita (*Arctostaphylos pungens*) y la encinilla (*Quercus striatula*) se distribuyen con diferentes densidades combinadas con varias especies de gramíneas y herbáceas (Silva, 2006).

Valoración económica y cuantitativa de la oferta de agua de la microcuenca La Rosilla[1]

La valoración de la oferta de agua en la microcuenca La Rosilla considera dos rubros: *a)* el costo de captación y *b)* el costo de recuperación (Barrantes y Castro, 1999). El costo de captación es el valor asignado a almacenar el agua en la presa en función de otros usos en la cuenca. El modelo empleado para calcular el valor de captación (VC) es el siguiente:

$$VC = \sum_{t=1}^{n} \frac{\alpha i\ B_i\ Ab_i}{Oc_i}(1+\beta_i) \qquad [1]$$

Donde *VC* es el valor de captación hídrica del bosque ($/m³), α_i es la importancia relativa del bosque en la cuenca *i* en función del recurso hídrico (%), B_i es el costo de oportunidad de la ganadería *versus* bosque en la cuenca *i* ($/ha/año), Ab_i es el área con bosque aprovechable en la cuenca *i*, Oc_i es el volumen de agua captada por bosques de la cuenca *i*

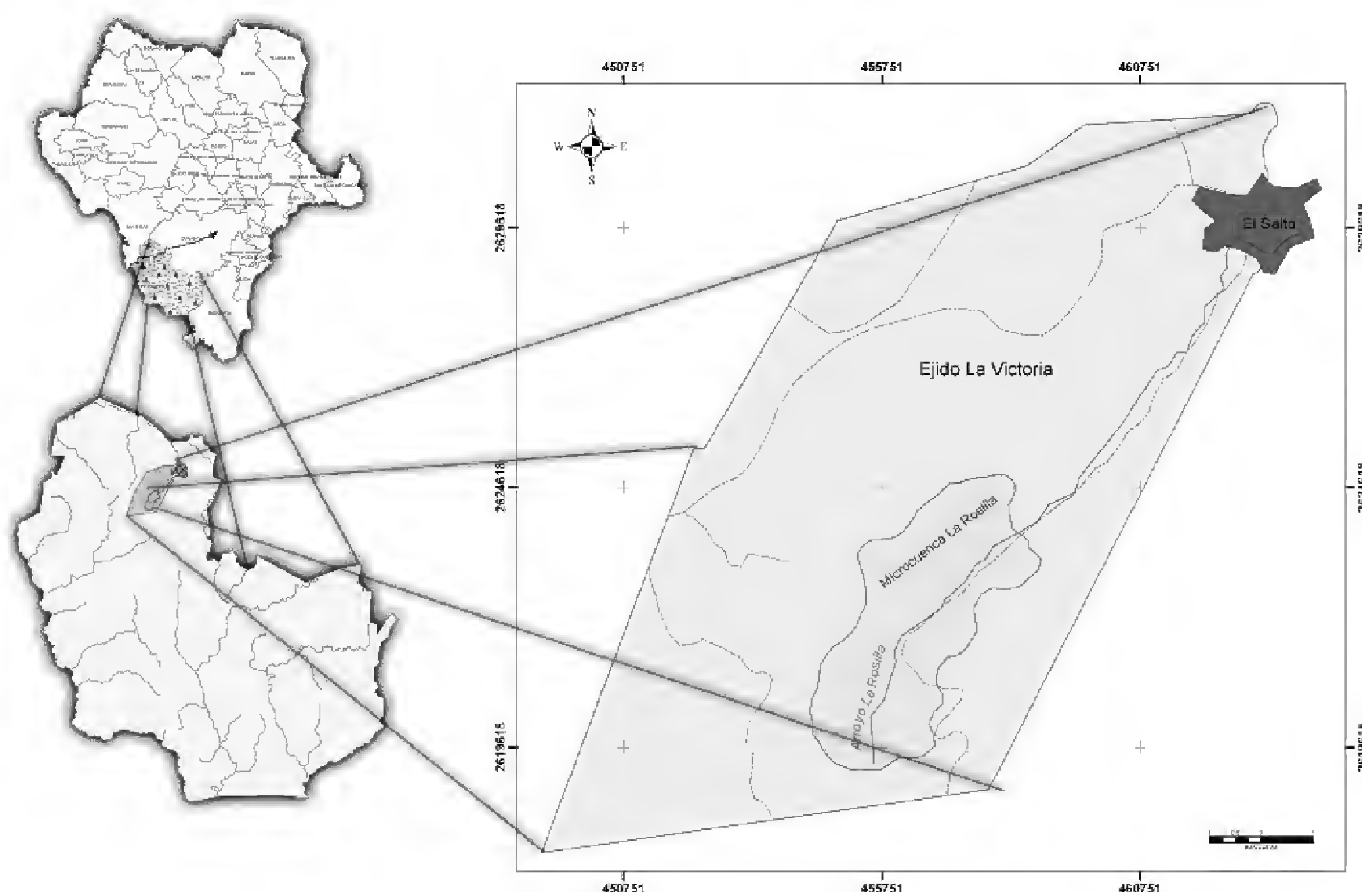


Figura 1. Localización de la población El Salto y la microcuenca La Rosilla.

1 Todos los costos y precios de productos en este estudio son en pesos mexicanos y representados por el símbolo $.

(m^3/ha/año) y β_i es la valoración de la calidad del agua de escorrentía captada por el bosque (%).

El valor de recuperación (VR) se relaciona con los costos en que se incurre para desarrollar actividades de fomento como la reforestación. Está dado por la siguiente expresión:

$$VR = \sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha i \, C_{ij} \; Ar_i}{Oc_i} \quad [2]$$

Donde VR es el valor de recuperación de las cuencas hidrográficas (\$/m^3), α_i es la importancia relativa del bosque en la cuenca *i* en función del recurso hídrico (%), C_{ij} son los costos para la actividad *j* destinada a la recuperación de la cuenca *i* (\$/ha/año), Ar_i es el área a recuperar en la cuenca *i* (ha), Oc_i es el volumen de agua captada por los bosques de la cuenca *i* (m^3/ha/año). La metodología de Barrantes y Castro (1999) considera un intervalo de tiempo de cinco años para el establecimiento y manejo inicial de las plantaciones forestales. Para este estudio se consideró un horizonte de 10 años, incluido su establecimiento. El costo total de esta actividad es de $13 350 por ha de acuerdo con los costos establecidos por la Comisión Nacional Forestal (DOF, 2007), con un egreso en el primer año del 70% equivalente a $9 345/ha, en los años consecuentes la inversión se reduce con un monto fijo de $1 011,25/ha, asociado al mantenimiento y protección de la plantación.

El costo de oportunidad por la producción de agua se compara con las tres principales actividades productivas de los ejidatarios: silvicultura, ganadería y agricultura. En el primer caso, de acuerdo con el volumen de corta autorizado para el ejido en su programa de manejo forestal (Hernández, 2007) se tiene una posibilidad de 4,16 m^3 rollo de pino verde por hectárea por año y 0,81 m^3 rollo de encino por hectárea por año con un valor en el mercado de $700 y \$360/m^3 rollo, respectivamente; lo que arroja un valor de $3 203,60/ha/año. La superficie forestal arbolada de la microcuenca es de 730 ha. En el caso de la ganadería se consideró la carga actual que tiene el ejido, con 10 hectáreas por cada unidad animal, es decir, la microcuenca estaría sujeta a soportar 90 cabezas de ganado vacuno, a un costo promedio en el mercado de $3 500 cada una. En la agricultura los cultivos que más se producen son el maíz y la avena, tomando esta última como base para hacer el cálculo de la utilidad, se tiene que una hectárea genera $10 500/año. La superficie agrícola estimada en la microcuenca es de 24 hectáreas.

Además de los costos de captación y recuperación, el estudio también incluyó el valor de protección y el costo de abastecimiento. El costo de protección considera actividades complementarias como el cercado de áreas con regeneración o reforestaciones, acordonamiento de materiales muertos, construcción de presas filtrantes, control de cárcavas a través de su cabeceo y suavización de taludes, conservación de caminos de acceso, construcción de brechas cortafuego y contratación de un encargado de realizar recorridos de vigilancia (Barzev, 2002; 2003; 2004; Barrantes y Castro, 1999). Los costos unitarios para las actividades señaladas se obtuvieron del Manual de obras y prácticas de protección, restauración y conservación de suelos forestales (Conafor, 2007), y las metas en función de los compromisos que el ejido asume en su programa de manejo forestal (Hernández, 2007).

El costo de abastecimiento (\$/m^3) incluye los costos asociados con el alma-

cenamiento, potabilización, conducción, entrega y, en muchos casos, pérdidas encontradas en la distribución del líquido. Para conocer este costo se realizó una entrevista con el director y el subdirector del Sistema Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Sideapas) de El Salto, solicitando información sobre los costos en que se incurre por estas actividades. En forma complementaria a la entrevista, se solicitó dar respuesta a un cuestionario con una serie de preguntas relacionadas con la calidad y regularidad en el servicio de abasto, los volúmenes de agua extraídos de la presa, proceso de distribución, costos, etc.

Disposición a pagar (DAP) y disposición a aceptar (DAA)

La DAP y DAA son medidas que permiten conocer el valor económico de la demanda de muchos bienes y servicios ambientales que difícilmente pueden evaluarse a través de métodos convencionales de mercado (Amigues *et al.*, 2002). La DAP y DAA se estiman evaluando las preferencias de los usuarios y/o consumidores con respecto a un bien o servicio y se dice que son declaradas porque se basan en una serie de preguntas en las que los usuarios seleccionan, jerarquizan o estiman un valor económico, generalmente cuantitativo, del bien o servicio (Champ *et al.*, 2003). Las preguntas forman parte de una encuesta en donde también se recaba información de la situación social y económica del usuario.

El método más comúnmente usado en la estimación de la DAP es la valoración contingente (Mogas *et al.*, 2006). Este método puede evaluar la DAP o DAA y determinar los factores más importantes que motivan al usuario a pagar o aceptar cierta compensación por un incremento en la calidad del servicio (Mitchell y Carson, 1989). La diferencia entre estas dos medidas está en la forma de evaluar cómo un individuo responde, por un lado, a las ganancias y por otro, a las pérdidas (Brown y Gregory, 1999). Otra diferencia importante es la manera de redactar las preguntas. En este estudio, a los usuarios (*i.e.*, pobladores de El Salto) se les preguntó la cantidad de dinero que estarían dispuestos a sacrificar de sus ingresos para obtener un mejoramiento en la calidad/cantidad de agua que actualmente reciben. Al proveedor del servicio (*i.e.*, ejidatarios) se le preguntó la cantidad de dinero que estaría dispuesto a aceptar en compensación para proteger el área de captación de la microcuenca y favorecer la producción de agua para consumo doméstico. La versión exacta de las preguntas en cada caso se presenta en la tabla 1.

Los resultados que se obtienen de la DAP y DAA son también diferentes. En muchos trabajos de investigación, la cantidad ofrecida como DAA ha sido más alta que la cantidad ofrecida como DAP (Mitchell y Carson, 1989; Brown y Gregory, 1999; Amigues *et al.*, 2002; Champ *et al.*, 2003). El hecho de que la DAP sea menor que la DAA puede deberse a que en principio el individuo tiende a aceptar altas cantidades de DAA porque rechaza el derecho de propiedad implícito en el formato de DAP (Mitchell y Carson, 1989). Muchos individuos estarían de acuerdo en proteger un recurso siempre y cuando la compensación que reciban sea significativamente alta, en comparación con los dividendos que se obtendrían por no protegerlo. Además, cuando los individuos se desenvuelven en un ambiente de precaución, riesgo, incertidumbre y no cuentan con el tiempo suficiente para tomar una decisión ofrecen niveles bajos de DAP (alta DAA) comparados con una alta DAP (baja DAA) cuando estos factores no están presentes (Mitchell y Carson, 1989). Estas controversias han propi-

Tabla 1. Preguntas sobre la DAP y DAA en la región de El Salto, P.N. Dgo.

Preguntas DAP
3.1. "… es importante que se protejan y conserven los bosques de La Rosilla, de tal manera que esto le asegure el suministro de agua proveniente del ejido La Victoria. ¿Estaría usted dispuesto(a) a pagar una cuota extra mensual para conservar los bosques de donde proviene el agua?
Sí _____ ¿Cuánto? $ _______ mensuales
No _____ Pase a la pregunta
3.2. ¿Estaría dispuesto(a) a pagar más?
Sí _____ ¿Hasta cuánto? $ __________
Preguntas DAA
2.1. "… es importante que se protejan y conserven los bosques de la microcuenca La Rosilla, de tal manera que esto asegure el suministro de agua a la población de El Salto. Suponiendo que los consumidores del agua en El Salto estuvieran dispuestos a realizar un pago al ejido La Victoria para asegurar en buena parte el abasto de agua. ¿Cuánto estaría usted dispuesto(a) a aceptar por parte de los usuarios del agua y otras dependencias como cuota mínima por hectárea cada año para conservar los bosques de la microcuenca La Rosilla?
$ ______/ha/año
2.2. ¿Estaría dispuesto(a) a aceptar menos?
No ____
Sí ____ ¿Hasta cuánto? $ ______ Ha/año."

ciado que muchos estudios abandonen la idea de estimar ambas medidas y se concentren en determinar únicamente la DAP (Amigues *et al.*, 2002). En este estudio, considerando las diferencias en los derechos de propiedad entre usuarios y proveedores del recurso, se determinó utilizar ambas medidas.

La DAP y DAA fueron calculadas usando el promedio o valor esperado *E(X)* de la distribución de probabilidad observada. En este caso,

$$E(X) = \overline{x} = \sum_{1=1}^{k} P(x_i) \cdot x_i \qquad [3]$$

Donde x_i es la cantidad a pagar o aceptar, $P(x_i)$ la proporción de personas que estarían dispuestas a pagar/aceptar x_i, y k es el número de categorías para la variable x. La varianza fue calculada con la expresión:

$$V(X) = \sum_{1=1}^{k} [x_i - E(X)]^2 \cdot P(x_i) =$$

$$= \sum_{i=1}^{k} x_i^2 P(x_i) - \left[E(X)\right]^2 \qquad [4]$$

Tamaño de muestra

Para estimar la disposición a pagar (DAP) y la disposición a aceptar (DAA) se aplicaron varias encuestas a los usuarios del agua (público en general) y a los proveedores del SAH, respectivamente. El

tamaño de muestra para los usuarios se determinó por medio de la ecuación convencional siguiente.

$$n = \frac{S^2 * t^2}{E^2} \qquad [5]$$

Donde n es el número de personas; S^2 es la varianza de la variable de interés, t es el valor en tablas de la distribución t de Student (α= 0,05) y E es el error expresado en porcentaje (±6%). El tamaño de muestra encontrado fue de 242 encuestas. Los usuarios fueron seleccionados al azar usando un mapa de la ciudad y tratando de cubrir un rango amplio de diversos sectores de la población. Las preguntas principales de la encuesta se clasificaron en tres grandes grupos: *a)* la disponibilidad a pagar o los escenarios hipotéticos, *b)* información sobre las fuentes de abastecimiento y la importancia de los bosques en la producción del agua y *c)* los aspectos socio-económicos de los entrevistados. De igual manera para los proveedores del servicio del agua que consta de 99 ejidatarios, se determinó una muestra de 21 personas.

RESULTADOS

La tabla 2 presenta un resumen de las características de los encuestados. Los factores demográficos más contrastantes entre usuarios y ejidatarios son el ingreso familiar y el porcentaje de mujeres que participó en las encuestas. El ingreso de los ejidatarios es el doble del ingreso percibido en promedio por los encuestados de la DAP. Además, el coeficiente Gini, una medida de la desigualdad económica, es más bajo para la muestra DAA que la DAP. Bajos coeficientes Gini sugieren que hay menos desigualdad económica y mejor distribución de la riqueza. Una posible explicación del alto porcentaje de mujeres en la encuesta DAP es que 41% de la muestra reportó la ocupación como "ama de casa", actividad mayoritariamente realizada por las mujeres en el hogar y las encuestas fueron hechas directamente en la vivienda. En contraste, sólo 14,3% de los encuestados de la DAA fueron mujeres. Los derechos de ejidatario se otorgan a los jefes de familia que generalmente son hombres. Estas características demográficas fueron comparadas con los datos del INEGI para la población de El Salto, P.N., encontrándose diferencias y simili-

Tabla 2. Características de los encuestados para estimar la DAP y DAA en El Salto, P.N., Dgo.

Variable	Muestra DAP (n= 242)	Muestra DAA (n= 21)	Población El Salto (N= 21 793)[1]
Porcentaje mujeres	62,0	14,3	51,4
Edad promedio (años)	41,6	53,2	26,6
Tamaño promedio de familia (# de personas)	5,0	5,0	4,6
Promedio de ingreso familiar ($/mes)	2 988	6 323	2 937
Coeficiente Gini	0,301	0,296	0,461[2]
Porcentaje de educación preparatoria y superior	21,0	20,0	16,7
Porcentaje de personas ocupadas	51,6	71,4	68,0
Porcentaje de individuos casados	73,0	80,9	62,9

1 Fuente: INEGI (2005). Conteo de población y vivienda 2005.
2 Corresponde al promedio nacional

tudes en las variables. De manera general, los datos de estas encuestas se consideran aceptables dados los niveles de confiabilidad (95%) y error de muestreo (±6%) usados en la estimación del tamaño de muestra.

El volumen de escorrentía promedio, estimado por el balance hidrológico de masas propuesto por Návar (2008), para el periodo de 1945 a 2007 fue de 2 383 millones de metros cúbicos de agua por año (Mm^3/año), con una desviación estándar de 1 289 y un intervalo de confianza (α= 0,05) de ±0,326. Es decir, utilizando la desviación estándar y suponiendo que los volúmenes escurridos se distribuyen normalmente, en 70 de 100 años, los volúmenes escurridos oscilan de 1 094 Mm^3/año a 3 672 Mm^3/año. Solamente en 15 de 100 años, los volúmenes son menores que 1 094 Mm^3/año y en los 15 de 100 años restantes los volúmenes sobrepasan los 3 672 Mm^3/año.

El volumen anual extraído de la presa La Rosilla II para suministrar de agua potable a la ciudad de El Salto es de 1,3 Mm^3/año (Sideapas, 2007). Esta cantidad de agua no es suficiente para satisfacer la demanda total de agua de la ciudad. Considerando el promedio per cápita de uso del agua estimado por la Comisión Nacional del Agua (CNA) para regiones como El Salto en México de 195 litros por habitante por día (CNA, 1994), se requiere de un volumen anual de 1,55 M m^3/año para abastecer a El Salto. Por esta razón existe un número importante de unidades habitacionales que no cuentan con el servicio de agua potable y, en otra parte importante de la ciudad, se raciona el agua en tiempo para poder administrar los recursos hidrológicos del embalse. Considerando el promedio de volumen de agua captado en la microcuenca durante los últimos 60 años (2 383 Mm^3/año, desviación estándar de 1 289 Mm^3/año), la satisfacción de la demanda (1,55 Mm^3/año) se obtendría en el 70% de los años. Para que esto se cumpla, el manejo de la escorrentía de la microcuenca debe de administrarse adecuadamente en el embalse de La Rosilla II. Es decir, no debe haber pérdidas, sobre todo en los periodos en los cuales se presentan los caudales máximos.

Valoración económica de la oferta de agua

a) Valor de captación. Se calculó el costo de oportunidad para cada una de las actividades productivas en la microcuenca. Las utilidades que se dejan de percibir cada año (costo de oportunidad) por no realizar el aprovechamiento del pino y encino en las 730 ha arboladas de la microcuenca son del orden de los $2 338 784,00 lo cual representa $3 203,60/ha/año. Respecto a la ganadería, aunque se considera una amenaza para los bosques, en forma ordenada puede ser compatible con la silvicultura. Su costo de oportunidad en la microcuenca considerando su práctica dentro de la superficie arbolada, se estimó en $431,50/ha/año. Por último la agricultura se puede llevar a cabo en una superficie de 24 ha dentro de la microcuenca, con una utilidad de $10 500,00 /ha/año. Se ponderó la importancia que los usuarios del SAH atribuyen al bosque para la presencia del recurso agua, así como la valoración de la calidad del agua de la microcuenca por parte de los usuarios. Esta información se obtuvo mediante la encuesta de la DAP, obteniendo un valor ponderado de 63% para el primer caso y de 68% para el segundo.

La ecuación [1] se aplicó sólo para la microcuenca La Rosilla, por lo que el signo de sumatoria para dos o más cuencas fue ignorado. También se adecuó el volumen de agua captado por los bosques, la fórmula original considera el volumen en m^3/ha/año, encontrando

una posible incongruencia en el valor numérico del estudio de Barrantes y Castro (1999). La adecuación consistió en modificar el valor de Oc_i a un valor que considerara el volumen de escorrentía promedio anual de la microcuenca (en este caso de 2,3 Mm^3/año) ajustado por un factor que se obtiene al dividir la superficie forestal entre la superficie de la microcuenca (730/944= 0,773) que resulta en el denominador de la ecuación [1]. Otra variante que se realizó en este trabajo para el cálculo del valor de captación fue el de incluir no sólo la actividad ganadera, sino también la silvicultura y la agricultura. Con los datos y variantes mencionados, se obtuvieron los siguientes resultados:

Silvicultura

$$VCs = \frac{0{,}63 * 3203{,}60 * 730}{1778601{,}7}(1 + 0{,}68) = \$\,1{,}392 / m^3\ de\,agua$$

Ganadería

$$VCg = \frac{0{,}63 * 431{,}50 * 730}{1778601{,}7}(1 + 0{,}68) = \$\,0{,}187 / m^3\ de\,agua$$

Agricultura

$$VCa = \frac{0{,}63 * 10500{,}00 * 24{,}1}{1778601{,}7}(1 + 0{,}68) = \$\,0{,}150 / m^3\ de\,agua$$

El valor de captación del agua en la microcuenca La Rosilla, tomando en cuenta las tres actividades mencionadas, es de $1 729 por metro cúbico de agua producida. Este valor de captación comprende la productividad del bosque en términos de las principales actividades económicas primarias que se deben de eliminar de la microcuenca con el objetivo único de manejarla para la producción de agua.

b) Valor de recuperación. Aplicando las mismas modificaciones realizadas al significado de la variable Oc_i en el modelo [2], en el cálculo del valor de recuperación se consideró el volumen de agua de escorrentía anual ajustado por la superficie arbolada entre la superficie total de la microcuenca La Rosilla; el valor ponderado de 63% que los usuarios del SAH asignan a la importancia del bosque para la existencia del agua y el número de hectáreas a reforestar, aproximadamente 10% de la microcuenca, es decir 94 ha. Al aplicar estos datos en el modelo [2] se obtiene un valor de recuperación de $0,311 por metro cúbico de agua para el primer año (VR_1) y de $0,033 por metro cúbico de agua para los años siguientes ($VR_{2\text{-}10}$) como se puede observar a continuación:

$$VR_1 = \frac{0.63 * 9{,}345.0 * 94}{1'778{,}601.7} = \$\,0.311 / m^3\ de\ agua$$

$$VR_{2-10} = \frac{0.63 * 1{,}011.40 * 94}{1'778{,}601.7} = \$\,0.033 / m^3\ de\ agua$$

El VR corresponde al costo en que se debe incurrir para el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones forestales en la microcuenca La Rosilla. Varía en el año uno de los años siguientes (dos al 10) debido a la reducción del costo relacionado únicamente con el mantenimiento de la plantación. La suma de los valores de captación y de recuperación resulta en un monto total de $2,04 por metro cúbico de agua para el primer año y de $1,76 por metro cúbico de agua para los años posteriores (2 al 10).

c) Costo de protección. Los costos de protección se basaron en el programa de manejo forestal para el ejido La Victoria (Hernández, 2007). En ese documento se especifican las actividades y metas a realizar para proteger especialmente la regeneración y el suelo. El costo total para el año inicial fue estimado en $330 285 y $106 935 para los años 2 al 10 (Tabla 3).

d) Costo de abastecimiento. De acuerdo con la información proporcionada por Sideapas (2007), el costo en que incurre este organismo para brindar el servicio de bombeo, almacenamiento, cloración, distribución, control de fugas y administración es de $350 270,00/año, es decir, $29 189,00/mes. El volumen mensual de extracción de agua de la presa La Rosilla II es de 108 500 m^3, por lo que el costo unitario es de $0,27 por metro cúbico de agua. Estos costos no incluyen administración, mantenimiento del suministro, ni las nuevas inversiones en el establecimiento de redes de agua potable y alcantarillado. Cabe señalar que dicho organismo desconcentrado estima pérdidas de agua en el proceso de abastecimiento de hasta 30% del volumen que se extrae de la presa.

La suma de todos los costos incluyendo los valores de captación y recuperación se encuentran en la tabla 4. El costo total estimado del periodo es $35,58 millones con cerca de 13% a aplicarse en el primer año. El costo unitario de producción de agua está estimado en $2,49 por metro cúbico para el primer año y $2,09 por metro cúbico para los años restantes.

Tabla 3. Costos de protección para el ejido La Victoria, P.N., Durango.

Concepto	Costo unitario ($)*	Costo total año 1 ($)	Costo total años 2-10 ($)
Cercado perimetral	15/m	163 350,00	
Acordonamiento de materiales muertos	1,69/m	2 535,00	2 535,00
Construcción de presas filtrantes	1 380/presa	4 140,00	4 140,00
Suavización de taludes	1 380/m^2	4 140,00	4 140,00
Conservación de caminos	1 380/km	4 140,00	4 140,00
Sueldo de encargado del cuidado del área	54 000/persona	54 000,00	54 000,00
Brechas cortafuego	2 000/km	21 780,00	21 780,00
Vehículo	60 000/vehículo	60 000,00	
Recorridos, inspección	16 200/recorrido	16 200,00	16 200,00
Total costos		330 285,00	106 935,00

* Basado en el *Manual de obras y prácticas de protección, restauración y conservación de suelos forestales* (Conafor, 2007).

Tabla 4. Costos totales de la oferta de agua en la microcuenca La Rosilla

Concepto	Cantidad ($) año 1	$/m3 de agua años 2 al 10	Cantidad ($)	$/m3 de agua
Valor de captación	2 905 784,00	1 729	2 905 784,00	1 729
Valor de recuperación	874 658,72	0,311	95 071,60	0,033
Costos de protección	330 285,00	0,186	106 935,00	0,06
Costos de abastecimiento	350 270,00	0,270	350 270,00	0,270
Total	4 460 997,72	2,496	3 458 060,6	2,092

Escenario hipotético de la DAP

El resultado de la aplicación de la encuesta de la DAP indica que 90% de los entrevistados está dispuesto a realizar un pago por el servicio ambiental hidrológico. El restante 10% manifiesta que no realizaría ningún pago argumentando que es obligación del gobierno proporcionar el servicio de abasto del agua, así como que el agua es de todos y no se puede negar el derecho de usarla a nadie. Quienes sí están dispuestos a hacer un pago por el servicio ambiental hidrológico, preferirían hacerlo a través de Sideapas-Presidencia Municipal (46%), 31% desearía pagar a través de una Organización No Gubernamental, pues opina que le daría más transparencia y uso correcto a los recursos, a 10% le gustaría pagar directamente al ejido, 10% no contestó a la pregunta y 3% preferiría pagar a otro organismo diferente como podría ser una comisión de ejidatarios. Respecto a la forma de recolección del pago 41,3% opina que debe hacerse a través del mismo recibo del organismo operador del servicio hidráulico y casi el mismo porcentaje (40,5%) considera que debe hacerse en un recibo adicional. El 7,6% opinó que el pago debe hacerse directamente al ejido y 10,7% se reservó la respuesta.

Es notable que en buena medida la población tiene confianza en la empresa paraestatal que maneja los servicios del agua (Sideapas) para depositar el pago. En un trabajo similar realizado por Herrador y Dimas (2001) en El Salvador 49% de los encuestados prefiere hacer los pagos a una ONG y sólo 17% al organismo operador del sistema de aguas en el área metropolitana de San Salvador. Ante una segunda pregunta de si desearían pagar más de la cantidad que inicialmente contestaron, la respuesta afirmativa se redujo a 40%, contra 60% que manifestó que no pagaría más de lo indicado en la primera pregunta.

Utilizando las ecuaciones (3 y 4), la cantidad monetaria de la DAP de los usuarios del SAH en primera instancia, es decir, en la respuesta a la primera ocasión que se les preguntó fue en promedio de $27,54/mes, con una desviación estándar de 26,73 y un intervalo de confianza de ±3,573 (Figura 2). A la pregunta de si estaría dispuesto a pagar más, la cantidad se incrementó a $50,35 por mes pero la DAP se redujo a 40% de la muestra, en este caso la desviación estándar fue de 43,32 y el intervalo de confianza de ±8,712. Al observar la tendencia de la curva, se apreció que ésta no tiene una distribución normal, por lo que dichas ecuaciones no estimarían correctamente la DAP. Para compensar la tendencia exponencial de la curva, se estimó la mediana, una medida más robusta a distribuciones probabilísticas no normales (Mogas *et al.*, 2006). En este caso, la mediana de la DAP se calculó en $17,18/mes.

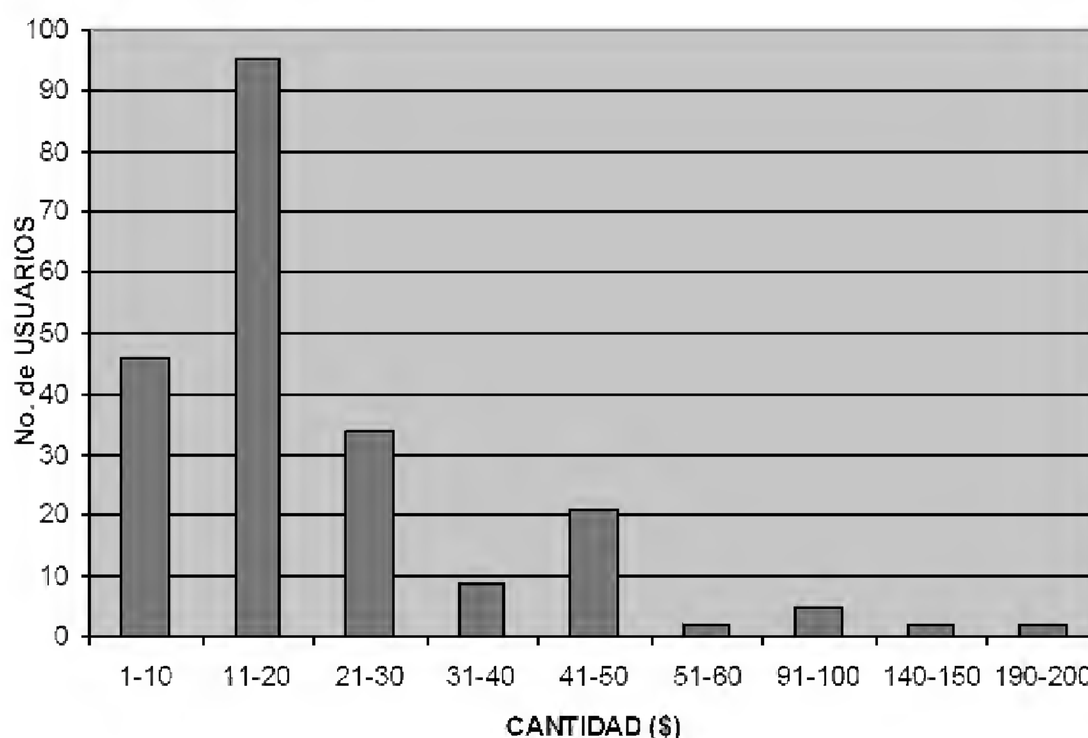


Figura 2. Distribución de la disposición a pagar (DAP) por servicios ambientales hidrológicos en El Salto, P.N., Durango.

Escenario hipotético de la DAA

Cien por ciento de los entrevistados manifestó estar dispuesto a recibir o aceptar un pago compensatorio por la prestación del SAH para abastecer de agua a El Salto, P.N., Durango. En la primera ocasión que se les preguntó sobre la DAA, a la cual todos respondieron en forma positiva (Figura 3), el monto promedio ponderado que aceptarían como pago es $7,14/ha /año (desviación estándar igual a 7,22), que multiplicado por la superficie forestal de la cuenca (730 ha) equivale a $434,35/mes. Al preguntarles si estarían dispuestos a aceptar una cantidad menor a la que contestaron inicialmente, sólo cinco personas (5,1% de la población) aceptarían recibir en promedio ponderado $6,29/ha/año. Al igual que la DAP, la tendencia de la curva no tiene una distribución normal por lo que se usó la mediana para tener un mejor estimador. La mediana de la DAA fue de $5,26/ha/año o $320,00/mes.

Se percibió que aún sin mucho conocimiento científico en el tema, los ejidatarios están convencidos que el bosque juega un papel muy importante en el ciclo hidrológico y en la producción de agua. Esta apreciación se ve fortalecida con los resultados obtenidos en una de las preguntas de la encuesta de la DAA, en la cual se plantea una serie de tratamientos silviculturales al bosque y se les cuestiona sobre cuáles serían más convenientes de aplicar para la producción de agua. Las respuestas señalan que los tratamientos no adecuados, es decir que no se deben aplicar, son las cortas a matarrasa, las cortas de regeneración, los aclareos y las cortas de selección. Coincidentemente, el orden en que se presentan es el mismo orden que guardan las intensidades de corta que generalmente se prescriben en estos tratamientos silvícolas dentro de los programas de manejo forestal. En contraparte, los tratamientos que se consideran muy adecuados o adecuados son la no

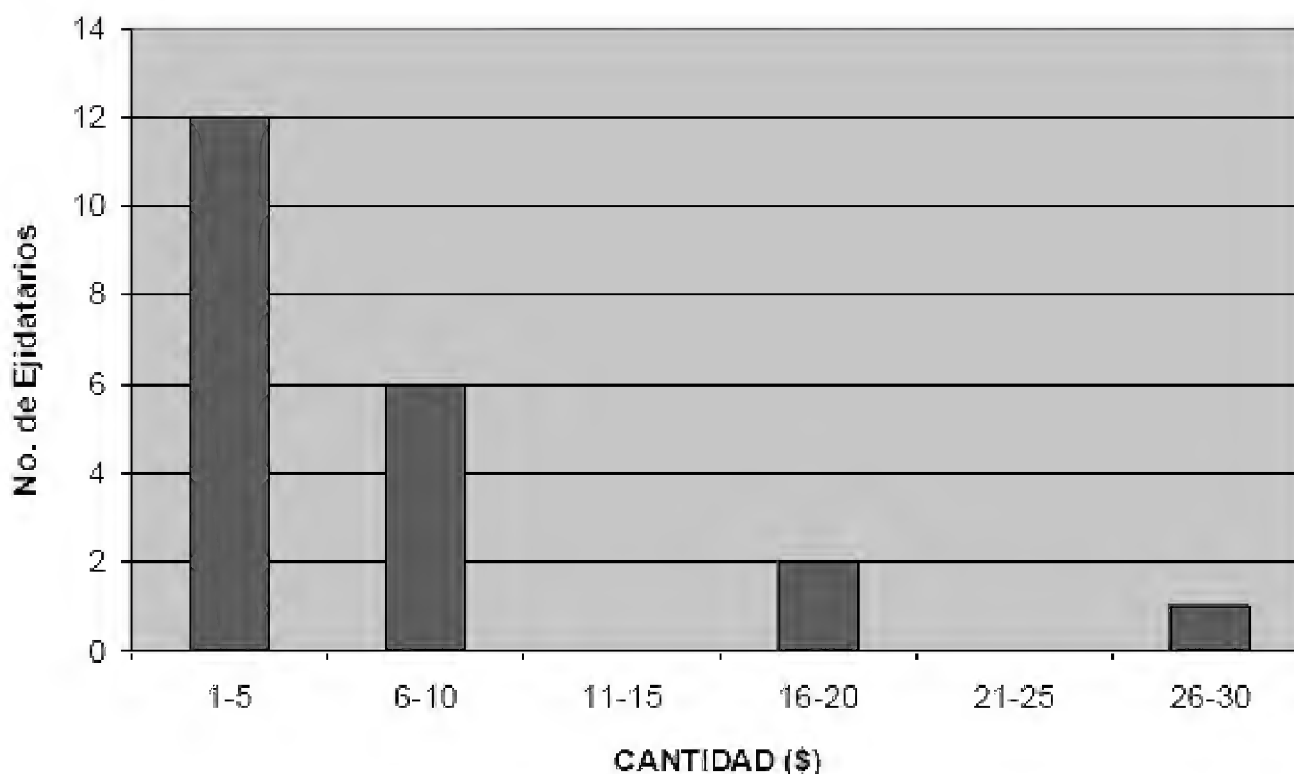


Figura 3. Distribución de la disposición a aceptar el pago (DAA) de los proveedores del recurso agua en El Salto, P.N., Durango.

corta y la reforestación, esto último coincide con lo señalado en la importancia que dan los ejidatarios de La Victoria a la presencia de los bosques para la producción de agua en la microcuenca.

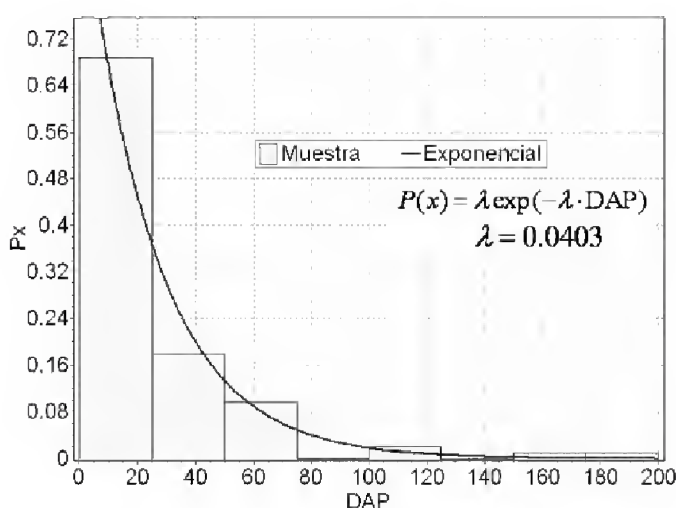
De ser factible el pago por parte de los usuarios por la prestación del SAH en la microcuenca La Rosilla, se preguntó a los ejidatarios a través de quién les gustaría recibir el pago, obteniendo como respuesta: Comisariado ejidal 43%, comisión integrada por ejidatarios 19% y Sideapas 38%. En cuanto a la forma de recibir el pago, preferirían hacerlo en primera instancia a través de un pago directo al ejido (42,8%) y en segundo término mediante depósito en cuenta bancaria del ejido (28,6%) y a través de Sideapas (28,6%). A diferencia de los usuarios del servicio, los ejidatarios prefieren en primera instancia aunque por poco margen, que los recursos se paguen a su comisariado ejidal y en segundo término a Sideapas.

DISCUSIÓN

En la comparación de los resultados de la DAP con otros estudios se observan ciertas diferencias. Por un lado, Herrador y Dimas (2001) estimaron la DAP en el área metropolitana de San Salvador en 3,89 dólares por mes, la cual a una tasa de cambio de $11 por dólar (abril 2008) y tasa de descuento de 6%, equivale a $64,3/mes, muy por encima de la cantidad mencionada en este trabajo que fue de $17,18/mes. Por otro lado, López-Paniagua *et al.* (2007), encontraron que la DAP en la región de Tapalpa, Jalisco fue en promedio $2,48/mes ($29,86/año), una cantidad que ellos mismos señalan como insuficiente para contrarrestar los efectos de cambio de uso del suelo. Con estas dos referencias es prácticamente imposible hacer una comparación realista, lo cual llama a la necesidad de estimular este tipo de investigaciones en México. De acuerdo a los rangos de variación, la

DAP en la región de El Salto se ubica en un punto medio.

Es interesante observar que la distribución probabilística de la DAP sigue un comportamiento similar a una distribución tipo exponencial con pendiente negativa (Mitchell y Carson, 1989). La distribución de la DAA es un poco diferente pero sigue teniendo la misma tendencia que la DAP (Figura 4). La curva de la DAA indica que la mayoría de los ejidatarios encuestados aceptó una compensación relativamente baja en lugar de aceptar compensaciones altas. Esto puede deberse a varias razones: la primera es que el tamaño de muestra para el cálculo de la DAA fue relativamente bajo para poder aspirar a los niveles de distribución encontrados en otros estudios. La segunda es que pudo haberse presentado una de las fallas de mercado, esto es, un conocimiento imperfecto del valor real de los servicios hídricos en el que no existe una información homogénea de los beneficios tangibles e intangibles que este bien trae a la sociedad para hacer su valoración. Una tercera razón, es que la información pudo haber reflejado un problema muy frecuente en estudios que utilizan la valoración contingente: la presencia de errores hipotéticos que se acentúan con muestras pequeñas. Este tipo de errores se atribuye, a su vez, a la presencia de valores de uso pasivos, como por ejemplo la importancia del recurso agua para generaciones futuras, y a la falta de conocimiento de este tipo de usos e inconsistencias en la información captada (Schläpfer, 2008). Los encuestados responden a las preguntas con la información que cuentan en ese momento pero carecen del significado y valor real de los valores de uso pasivo. Una última explicación tiene que ver con el carácter dual de los ejidatarios, en que muchos de ellos son también usuarios directos del servicio. Esta situación se puede traducir en un ambiente de confusión sobre los derechos de propiedad adquiridos como usuario y proveedor del servicio al mismo tiempo. Algunos ejidatarios aceptaron una compensación relativamente baja por el hecho de que tarde o temprano ellos mismos podrían verse en una situación de tener que pagarla.



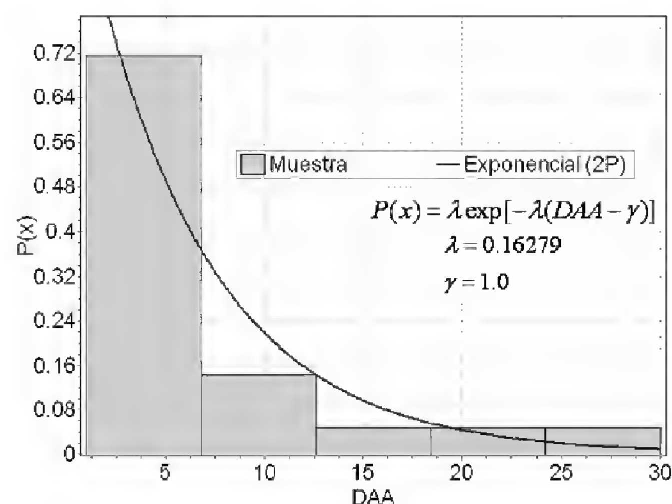


Figura 4. Ajuste de probabilidades de distribución para la DAP y DAA. La distribución de probabilidad tipo exponencial fue la que mejor resultado obtuvo para ambas muestras. La prueba de Kolmogorov-Smirnov fue usada para determinar la bondad de ajuste.

A pesar de la tendencia de la curva de la distribución probabilística de la DAA, los resultados indican que en promedio ésta fue más alta que la DAP. La DAA fue estimada en $320,00 por mes mientras que la DAP en $17,18/mes. Los resultados coinciden con la mayoría de los estudios de valoración contingente en donde la DAP es menor que la DAA (Mitchell y Carson, 1989). En este caso, los ejidatarios tienden a exigir una mayor compensación por el no aprovechamiento de sus recursos forestales y favorecer la captación y almacenamiento de agua en la presa "La Rosilla", mientras que los usuarios a pagar menos por un potencial incremento en la calidad/cantidad en el servicio. Sin embargo, al generalizar los valores para su población respectiva, la DAP fue obviamente más alta que la DAA. La DAP total para la población de El Salto, considerando un total de 5 689 viviendas (INEGI, 2005), se estimó en $1,17 millones por año con un rango de variación (basado en el coeficiente de error estándar) de $1,11 a $1,32 millones por año, mientras que la DAA total para el ejido La Victoria, considerando un total de 98 ejidatarios, se estimó en $376,000/año variando entre $280,000/año y $472,000/año.

La suma total de los costos de producción resultaron en una cantidad de $4,46 millones en el primer año y $3,46 millones en los años restantes (Tabla 4). Estos costos incluyen el valor de captación, valor de recuperación, costos de protección y costos de abastecimiento o entrega del agua al usuario. Los resultados indican que la cuota económica obtenida en la DAP de los usuarios del servicio ambiental hidrológico no es suficiente para cubrir los costos totales de producción de agua en la microcuenca. En este caso, otras alternativas se deben buscar para cubrir la diferencia que haga posible mejorar la calidad del servicio sin comprometer la integridad del ecosistema de la microcuenca. Aquí se incluyen programas de servicios ambientales como captura de carbono o producción de agua del programa ProÁrbol o incluso a través de subsidios gubernamentales. Otras acciones podrían ser el desarrollo de talleres, cursos u otros mecanismos de concientización entre la población que ayuden a elevar la eficiencia en el uso del agua. También se incluye la renovación de equipo y material de extracción y distribución, porque según el personal de Sideapas, existen pérdidas de hasta 30% del volumen de agua que se extrae de la presa.

CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue generar conocimiento en la valoración de servicios ambientales hidrológicos en la región de El Salto, P.N., Durango. En la valoración de mercado, se estimaron costos de captación, recuperación, restauración, protección y abasto de agua a los residentes de El Salto. En promedio, los costos totales de producción fueron de $2,49 por metro cúbico de agua para el año inicial y de $2,09 por metro cúbico de agua para los años posteriores. Estos costos no consideran gastos de administración, mantenimiento, apertura, operación ni tampoco tratamiento de aguas residuales, por lo que es probable que al final se eleven significativamente. Las formas de implementar este costo es un tema de investigación adicional.

Noventa por ciento de los usuarios encuestados está dispuesto a pagar alguna cantidad por conservar las fuentes de abastecimiento de agua. A su vez, 100% de los ejidatarios estaría dispuesto a aceptar un pago por proveer el servicio hidrológico ambiental, aunque la distribución probabilística indica que los ejidatarios estarían dispuestos a aceptar una cuota de compensación baja. Los resultados sugieren que ambos sectores de la población están dispuestos a participar en

el mejoramiento del servicio de calidad/cantidad del agua. También se apreció que 46% de los participantes estaría dispuesto a dar el pago al organismo municipal Sideapas, encargado de administrar el recurso.

Al igual que muchos otros estudios, los resultados de este trabajo indican que a nivel individual la DAP es menor que la DAA. El beneficio unitario de la DAP es igual a $0,003/L/día/persona mientras que la DAA es igual a $0,054/L/día/persona. Esto tiene mucha significancia en la planeación y manejo de SAH dado que los usuarios tienden a subvalorar el servicio mientras que los proveedores a sobrevaluarlo. Las diferencias entre estas dos medidas del bienestar social han ocasionado que la DAA frecuentemente se ignore en muchos estudios, dejando a la DAP como la base fundamental en la valoración de servicios ambientales. A nivel población, los resultados de la DAP indican que los beneficios esperados son menores que los costos de producción, por lo que un potencial incremento en la calidad del servicio del agua en esta región requiere otras fuentes de financiamiento. Aquí se incluye a organismos gubernamentales, no gubernamentales y desde luego la misma sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los directivos y ejidatarios de La Victoria por permitir realizar este estudio, a Sideapas por la información facilitada y a las personas entrevistadas por aceptar y contestar las encuestas. Nuestro reconocimiento también a la Comisión Nacional Forestal y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional, por la voluntad y disposición de apoyar técnica y económicamente este estudio.

REFERENCIAS

Amigues, J.P., C. Boulatoff, B. Desaigues, C. Gauthier, y J.E. Keith. 2002. The benefits and costs of riparian analysis habitat preservation: a willingness to accept/willingness to pay contingent valuation approach. Ecological Economics 43:17-31.

Barrantes, G. y E. Castro. 1999. Implementación de un esquema de cobro y pago por servicio ambiental hídrico: el caso de la empresa de servicios públicos de Heredia, S.A. Costa Rica.

Barzev, R. 2002. Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales. Proyecto para la consolidación del corredor biológico mesoamericano. Serie técnica núm. 4. Managua, Nicaragua. 149 p.

Barzev, R. 2003. Estudio de valoración económica de la oferta y demanda hídrica del bosque en que nace la fuente del río Chiquito (finca El Cacao, Achuapa). Implementación de mecanismos de pagos por servicios hídricos. http://www.fao.org/Regional/LAmerica/Foro/psa/pdf/estudio.pdf. (último acceso 14 de octubre de 2008).

Barzev, R. 2004. Guía metodológica de valoración económica de los recursos hídricos. Estudio de caso cuenca del río Humuya, Honduras. Borrador. 66 p.

Brown, T.C. y R. Gregory. 1999. Why the WTA–WTP disparity matters. Ecological Economics 28:323-335.

Champ, P.A., K.J. Boyle y T.C. Brown. 2003. A primer on nonmarket valua-

tion. Norwell, MA. Kluwer Academic Publishers.

CFE (Comisión Federal de Electricidad). 1998. Manifiesto de impacto ambiental modalidad general de la presa La Rosilla II. Elaborado en convenio con CNA. Durango, México.

CNA (Comisión Nacional del Agua). 1994. Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario. CNA. México, D.F.

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2005. Estadísticas del agua en México. Sistema Unificado de Información Básica del Agua. CNA. México, D.F.

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2007. Estadísticas del agua en México. Sistema Unificado de Información Básica del Agua. CNA. México, D.F.

Conafor (Comisión Nacional Forestal). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Gerencia de suelos forestales. 3a. edición. México, D.F. 300 p.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2007. Acuerdo por el que se publican las reglas de operación del Programa Proárbol de la Comisión Nacional Forestal. Segunda sección. México, D.F.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Situación de los bosques del mundo. Dirección de información de la FAO. 6a. edición. Roma, Italia.

García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptación a la República Mexicana). 4a. edición. México, D.F. 130 p.

Hernández, F.J. 2007. Programa de manejo forestal 2007-2017 nivel avanzado del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango, México.

Herrador, D. y L. Dimas. 2001. Valoración económica del agua para el área metropolitana de San Salvador. Prisma. San Salvador.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. II Conteo de población y vivienda por localidad. Disco compacto. México.

Manzano, C.M., J. Návar, M. Pando y A. Martínez. 2000. Overgrazing and desertification in Mexico: Highlights on the northeastern region. Annals of Arid Zone 39:285-304.

Mogas, J., P. Riera y J. Bennett. 2006. A comparison of contingent valuation and choice modelling with second-order interactions. Journal of Forest Economics 12:5-30.

Mitchell, R.C. y R.T. Carson. 1989. Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. Washington, D.C. Resources for the future.

Muñoz-Piña, C., A. Guevara, J.M. Torres y J. Braña. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. Ecological Economics 65(4):725-736.

Návar, J. 2008. Métodos y modelos para proyectos sustentables en ecosistemas forestales. CIIDIR-IPN. Durango. Inédito.

Rosa, H., S. Kandel y L. Dimas. 2004. Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales. Lecciones de las Américas y temas

críticos para fortalecer estrategias comunitarias. Editado por Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (Prisma); Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat); Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C. (CCMSS). México, D.F. 125 p.

Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2005. Ley general de desarrollo forestal sustentable y su reglamento. Comisión nacional forestal. México, D.F. 267 p.

Schläpfer, F. 2008. Contingent valuation: a new perspective. Ecological Economics 64:729-740.

Sideapas (Sistema Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de El Salto). 2007. Entrevista personal con el director y el subdirector del Sideapas de El Salto. H. Ayuntamiento de Pueblo Nuevo, Durango.

Silva, F.R. 2006. Estudio para el fortalecimiento de las actividades productivas en la empresa forestal ejidal "La Victoria", municipio Pueblo Nuevo, Durango. Informe final. Conafor-Procymaf II. Durango, México. 29 p.

Manuscrito recibido el 16 de junio de 2008
Aceptado el 30 de julio de 2009

Este documento se debe citar como: Silva-Flores, R., G. Pérez-Verdín y J.J. Návar-Cháidez. 2010. Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 16(1):31-49.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales

The temperate forest of the state of Nuevo León: sustainable management for goods and environmental services

José de Jesús Návar-Cháidez[1]

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presentan las características dasométricas, de existencias reales, diámetro, altura, densidad, distribuciones diamétricas, productividad, biomasa, carbono y diversidad biológica de los bosques templados del estado de Nuevo León, México. Esta información se derivó de 63 sitios muestreados en el marco del inventario nacional forestal de 2004-2006. De esta información se extrae que los bosques templados se encuentran en un estado juvenil, con distribuciones diamétricas sesgadas hacia los diámetros mayores, con bajas densidades en número de arbolado, en volumen, biomasa y carbono. La productividad de estos ecosistemas es también baja, con un incremento diamétrico corriente anual de menos de 0,36 cm a^{-1}. La diversidad de especies arbóreas y arbustivas es baja pues se encontraron en promedio cuatro especies a la escala espacial del inventario. Se encontró evidencia de que la productividad está relacionada con la diversidad biológica y la diversidad estructural arbórea y arbustiva en forma directa y positiva. Se concluye que el potencial de manejo de estos bosques para su conservación y restauración es alto por las características antes señaladas. Se recomienda un manejo integrado con bajo uso de bienes por un periodo corto de tiempo y de servicios ambientales para restaurarlos de una manera efectiva, con prácticas silvícolas tendientes a aumentar la diversidad biológica y la diversidad estructural para aumentar la productividad de las comunidades templadas de los ecosistemas forestales.

PALABRAS CLAVE:
Diversidad biológica, diversidad estructural, ecuaciones de volumen, productividad, *Quercus*.

ABSTRACT

In this research paper, information is presented on the dasometric features of standing volume, diameter, top height, tree density, diameter distributions, tree and stand productivity, aboveground biomass, carbon in aboveground biomass and the tree biological diversity of temperate forests of the state of Nuevo Leon, Mexico. This information was derived from 63 inventoried sites within the framework of the forest inventory of 2004-2006. It is concluded that temperate forests are in juvenile state with diameter distributions skewed to the right, with low tree density, low densities of standing volume, biomass and carbon stocks. Tree productivity is also small since it does not surpass on the average 0,36 cm y^{-1}. Tree diversity at the site scale is also small since less than four species are found on the average on these sites. There was statistical evidence that productivity is related to tree diversity and structural diversity in a positive and linear manner. Therefore, there is a great potential to sustainably manage these forests for a wide range of goods and services. It is recommended a light management for goods for 15 years and to carry on the appropriate silvicultural practices to enhance tree diversity as well as structural diversity to increase productivity.

1 Manejo de Recursos Naturales. CIIDIR-IPN Unidad Durango. Sigma 119 Col. 20 de Noviembre II. Durango, Dgo. 34220. México. jnavar@ipn.mx

KEY WORDS:
Biological diversity, structural diversity, volume equations, productivity, *Quercus*.

INTRODUCCIÓN

El manejo sustentable de los ecosistemas forestales para bienes y servicios ambientales requiere de una diversidad de información que indique sobre las existencias actuales, su incremento y rendimiento o productividad y las relaciones intrínsecas entres los diversos componentes de los ecosistemas, entre otros.

Las ecuaciones de componentes de volumen son útiles, para que junto con los datos del inventario provean las existencias reales actuales así como los rasgos dasométricos de las especies que componen los bosques (Clutter *et al.*, 1983). Las ecuaciones de biomasa junto con los datos del inventario forestal proveen información sobre los almacenes de biomasa y cuando se multiplican por un factor proveen también los almacenes de carbono (Brown, 1997; Clark *et al.*, 2001; Jenkins *et al.*, 2001; Schroeder *et al.*, 1997). La información sobre el tiempo de paso, los análisis troncales y los estudios de cronosecuencias proveen información sobre los diversos componentes de la productividad (Vanclay, 1994) y eventualmente informan sobre los cambios en las dimensiones del arbolado y los flujos de elementos biogeoquímicos como el carbono y el nitrógeno (Hughes *et al.*, 1999).

Los planes de manejo forestal convencional incorporan exclusivamente los volúmenes o existencias reales, los cambios en las dimensiones en tiempo y el programa de extracción (Clutter *et al.*, 1983). Generalmente no se incluyen conceptos como la biomasa y el carbono en almacenes o flujos ni los balances para detectar indicadores de sustentabilidad. Estos indicadores son clave para varios criterios de muchos procesos y son necesarios en los planes de manejo forestal sustentable (Brown, 1997). Tampoco se incluyen observaciones sobre los controles de la productividad para poder prescribir las prácticas silvícolas adecuadas para el mantenimiento o aumento de la productividad de los ecosistemas para beneficio de la sociedad (Tilman *et al.*, 1997; Ishi *et al.*, 2004).

OBJETIVOS

Este trabajo de investigación pretende incorporar conceptos de manejo forestal convencional con aspectos de sustentabilidad y la inclusión cuantitativa de elementos como biomasa, carbono, almacenes, flujos y controles de la productividad, como un ejemplo a utilizar en los planes de manejo forestal sustentables del futuro. Para esto se utilizan 63 sitios del inventario nacional forestal del 2004-2006 para los bosques de clima templado del estado de Nuevo León. Se prueban paralelamente varias hipótesis científicamente válidas que hacen del reporte un documento técnico científico de importancia para el manejo de los ecosistemas forestales templados. Las hipótesis que se plantean son: *a)* que los incrementos son independientes de parámetros dasométricos de los árboles y *b)* que la diversidad biológica, la productividad y la diversidad estructural no se encuentran estadísticamente relacionadas.

METODOLOGÍA

Localización del área de estudio

El estado de Nuevo León se ubica al noreste de México. Las formaciones de bosques templados se localizan en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental

y serranías aisladas del interior. Palacios-Prieto *et al*. (2000) mencionan para el estado de Nuevo León 148 200 ha, 303 100 ha y 122 000 ha de bosques templados clasificados como bosques puros de pino, pino-encino y encino, respectivamente. En conjunto estos bosques representan cerca de 9% de la superficie forestal estatal.

Datos

Se utilizaron 98 sitios del inventario nacional forestal seleccionados para los bosques templados de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León. De los sitios seleccionados, sólo 63 tuvieron presencia del género *Pinus*, con información sobre el crecimiento, a través del tiempo de paso. Por esta razón sólo estos sitios se consideraron para este estudio. Los sitios se distribuyen en toda la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León y fueron levantados siguiendo la metodología del Inventario Nacional Forestal 2004-2006.

Métodos

Se estimaron las existencias reales para las comunidades templadas de Nuevo León, con ecuaciones de componentes de volumen para fustes, tocón y ramas. Las ecuaciones de volumen que se aplicaron fueron tomadas de Návar (2010), para los géneros *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga* y *Juniperus*:

$$Vt= ((0,00006D^{1,97}H^{0,96})*1,006)+((0,000004D^{2,54}H^{-0,12})*1,13)+((0,00002D^{2,34}H^{0,60})*1,24);$$

Y para las especies de latifoliadas:

$$Vt= ((0,00008D^{1,91}H^{0,81})*1,008)+((0,000004D^{2,69}H^{-0,28})*1,11)+((0,00002D^{2,17}H^{0,78})*1,21)$$

Donde: Vt= volumen rollo total árbol, D= diámetro normal (cm) y H= altura total (m).

Se estimaron las densidades de biomasa y carbono para todas las especies que componen los bosques templados del estado de Nuevo León. Las ecuaciones de biomasa que se aplicaron fueron tomadas de Návar *et al*. (2004), Návar (2009) y Návar (2009a) para los siguientes géneros *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga* y *Juniperus*:

$$Tab= 0,1229D^{2,3964}$$

Para las especies de latifoliadas:

$$Tab= 0,089D^{2,5226}$$

Para las palmas y yucas:

$$Tab= exp(0,360+1,218*Ln(H)+0,325)$$

Para especies del matorral:

$$Tab= (0,026884+0,001191Db^2H+0,044529Db-0,01516H)+(1,025041+0,023663Db^2H-0,17071H-0,09615Ln(H))+(-0,43154+0,011037Db^2H+0,113602Db+0,307809*Ln(Db))$$

Donde: Tab= biomasa total aérea (kg), D= diámetro normal (cm); Db= diámetro basal (cm), H= altura total (m).

Para el género *Pinus*, el incremento medio anual, IMA, se calculó de la división del diámetro normal entre la edad. Este valor incluye la corteza. El incremento corriente anual, ICA, se estimó del tiempo de paso, como sigue: 5 cm/Tp; donde Tp= tiempo de paso y los 5 cm son las dimensiones necesarias para pasar de una categoría diamétrica a otra. Para el género *Quercus*, se utilizó la ecuación del incremento diamétrico siguiente

AD= *(96,79*0,005224*1,47*((1-EXP(-0,005224*D)))^(0,4722)*EXP(-0,005224*D))*;

donde AD= incremento diamétrico, D= diámetro normal (cm). Este modelo fue reportado para *Quercus sideroxyla* de Durango por Merlín-Bermúdez y Návar (2005).

Se relacionó estadísticamente el tiempo de paso con la edad y los incrementos medio y corriente anual con la edad de los árboles. La edad fue tomada de al menos un árbol en cada sitio inventariado, con el uso de los taladros de Pressler. Para esto se aplicaron modelos estadísticos de mejor ajuste para el rango de diámetros observados.

La diversidad arbustiva y arbórea. Se estimó el valor del número de especies, S, y el índice de diversidad simple de Menhinick para describir la diversidad arbórea y arbustiva de los bosques templados del estado de Nuevo León.

Las relaciones entre la diversidad-productividad-estructura de los bosques templados de Nuevo León. La estructura se estimó por medio de la desviación diamétrica y en altura. Las desviaciones cuando son mayores poseen varios estratos horizontales o verticales. La productividad se caracterizó por los incrementos medio y corriente anual para las comunidades de *Pinus*. La diversidad fue al nivel del bosque y se describe como la diversidad alfa. Se relacionaron estos tres componentes por medio de regresiones lineales. La significancia estadística da indicaciones de la estrechez de la relación existente entre los componentes.

Finalmente con toda esta información se establecieron recomendaciones para el desarrollo de un plan de manejo sustentable para las comunidades templadas del estado de Nuevo León, basado en las clasificaciones por la distribución diamétrica.

Se ajustó también la distribución Weibull a los parámetros derivados del estudio (diámetros, alturas, densidades, volúmenes, densidades de biomasa y carbono) para observar mejor la dispersión de estas variables. La función de densidad se ajustó también para cada especie registrada en el inventario. La ecuación probabilística Weibull de tres parámetros como función de densidad probabilística (pdf) se define con la siguiente ecuación matemática (Clutter *et al.*, 1983; Vanclay, 1994):

$$Px(X)=\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)\left(\frac{X-\varepsilon}{\beta}\right)^{\alpha-1}e^{\left(-\left(\frac{x-\varepsilon}{\beta}\right)\right)^{\alpha}}$$

y como función de densidad de probabilidad acumulada (cdp)

$$P(x\leq X)=1-e^{\left(-\left(\frac{x-\varepsilon}{\beta}\right)^{\alpha}\right)}$$

Donde px(X)= probabilidad de la variable aleatoria; χ, β y ε son los parámetros de forma, escala y posición, respectivamente.

Návar y Contreras (2000) desarrollaron programas de cómputo para estimar los parámetros de la función de densidad por diversos procedimientos. En este trabajo se usó la metodología de momentos en la estimación de los parámetros de pdf.

La función de ahusamiento de Newnham (1992) con parámetros estimados para las especies de Nuevo León (pinos y encinos) tomados de Návar (inédito) se utilizó en la definición de los volúmenes comerciales.

RESULTADOS

Las existencias reales totales de las comunidades templadas del estado de Nuevo León se presentan a continuación por clase diamétrica en la tabla 1.

Son notorias las disminuciones de las existencias reales a medida que aumentan las dimensiones del arbolado.

Las estructuras diamétricas de todos los árboles muestran que los bosques presentan masas irregulares, porque presentan una aproximación a la típica J invertida o muy sesgadas hacia los diámetros mayores. El diámetro promedio (± intervalo de confianza) para todos los individuos inventariados en los 63 sitios fue de 18,62 cm (±1,2 cm), con una desviación estándar de 4,9 cm (Figura 1).

Tabla 1. Existencias reales actuales de las comunidades de pino-encino del estado de Nuevo León.

	Volúmenes por componente (m^3)							
	Quercus				*Pinus*			
Clase	Total aéreo	Fustal	Tocón	Ramas	Total aéreo	Fustal	Tocón	Ramas
12,5	2,73	1,70	0,10	0,93	1,38	0,83	0,05	0,51
17,5	17,25	10,39	0,66	6,20	10,73	6,52	0,32	3,90
22,5	11,67	6,86	0,45	4,35	8,43	5,16	0,21	3,05
27,5	4,79	2,76	0,19	1,84	3,86	2,38	0,09	1,40
32,5	4,83	2,74	0,19	1,90	4,25	2,63	0,09	1,54
37,5	3,44	1,93	0,14	1,38	3,26	2,02	0,06	1,18
42,5	6,61	3,65	0,27	2,70	0,52	0,32	0,01	0,19
47,5	5,02	2,74	0,20	2,08	0,19	0,12	0,00	0,07
52,5	3,70	2,00	0,15	1,55	0,06	0,04	0,00	0,02
57,5	2,65	1,42	0,11	1,13	0,02	0,01	0,00	0,01
62,5	1,06	0,56	0,04	0,46	0,01	0,01	0,00	0,00
Total	63,77	36,74	2,51	24,52	32,73	20,04	0,83	11,86

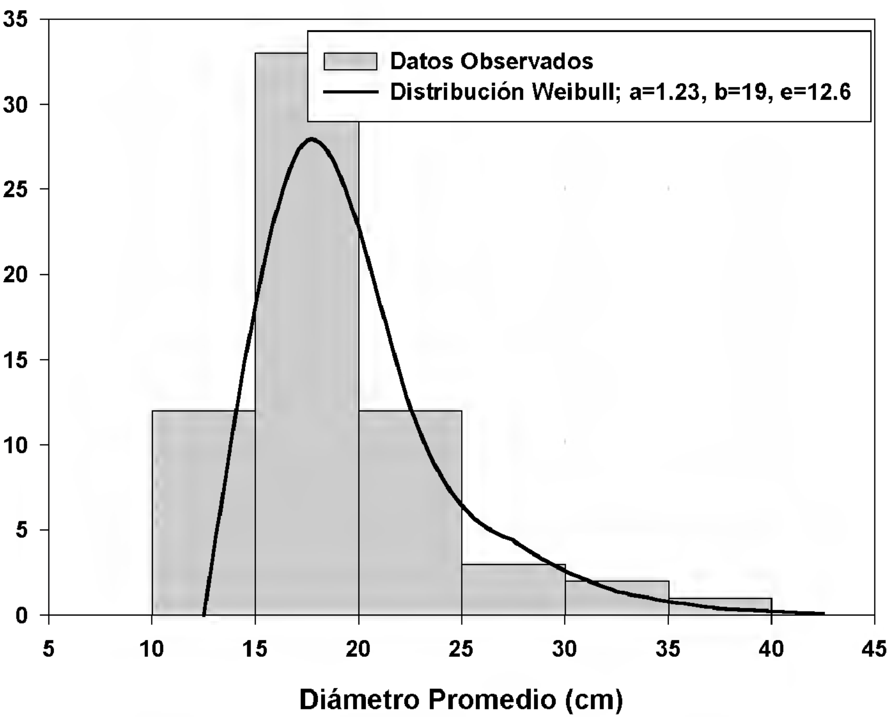


Figura 1. Distribución diamétrica promedio observada y modelada por la distribución Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

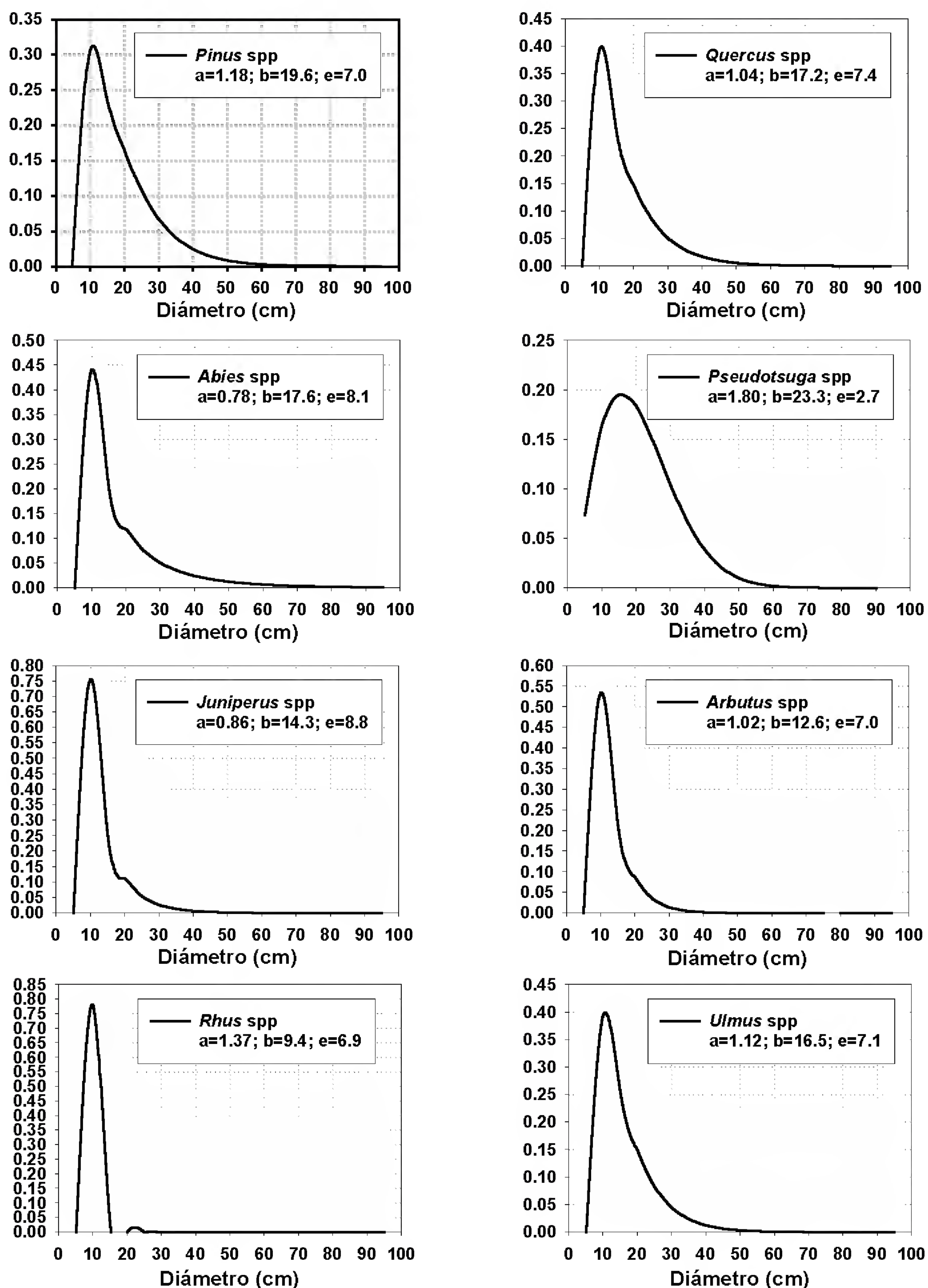


Figura 2. Distribuciones diamétricas modeladas por la distribución Weibull para las especies con mayor densidad, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

Los promedios modales para las distribuciones diamétricas de las principales especies que componen los bosques del estado se encuentran en los 10 cm para casi todas ellas, con la excepción de *Pseudotsuga menziesii*, que se encuentra cerca de los 15 cm (Figura 2). Las probabilidades de encontrar árboles con diámetros mayores que x diámetro y la densidad de arbolado con diámetros mayores que x diámetro, se presentan en la tabla 2.

Son notorias las bajas probabilidades de encontrar arbolado por arriba de los 40 cm, con valores por debajo del 5% para todos los géneros, con las excepciones de *Abies* y *Pseudotsuga*, dos géneros que se encuentran listados en la NOM-059-SEMARNAT-2001. La altura promedio de los árboles y arbustos de los 63 rodales se aproxima a los 6,84 m (± 0,56 m) con una desviación estándar de 2,21 m. El promedio en altura es bajo para estos bosques (Figura 3).

Tabla 2. Probabilidades de encontrar árboles con diámetros mayores que x utilizando la distribución probabilística Weibull para bosques del estado de Nuevo León.

	Densidad de arbolado con diámetro mayor que					Probabilidad de encontrar a con d>x				
Género	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm
Pinus	47,63	29,31	17,58	10,34	5,97	0,3543	0,218	0,1308	0,0769	0,0444
Quercus	67,99	39,64	22,95	13,23	7,60	0,2729	0,1591	0,0921	0,0531	0,0305
Abies	1,40	0,96	0,68	0,48	0,35	0,3036	0,2086	0,1469	0,1052	0,0764
Pseudotsuga	0,36	0,23	0,14	0,08	0,04	0,4818	0,3156	0,1901	0,1057	0,0544
Juniperus	1,43	0,72	0,37	0,20	0,11	0,1583	0,0795	0,0411	0,0217	0,0117
Arbutus	1,64	0,65	0,25	0,10	0,04	0,0943	0,0373	0,0146	0,0057	0,0022
Rhus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ulmus	0,55	0,29	0,15	0,08	0,04	0,2404	0,1278	0,0665	0,034	0,0171

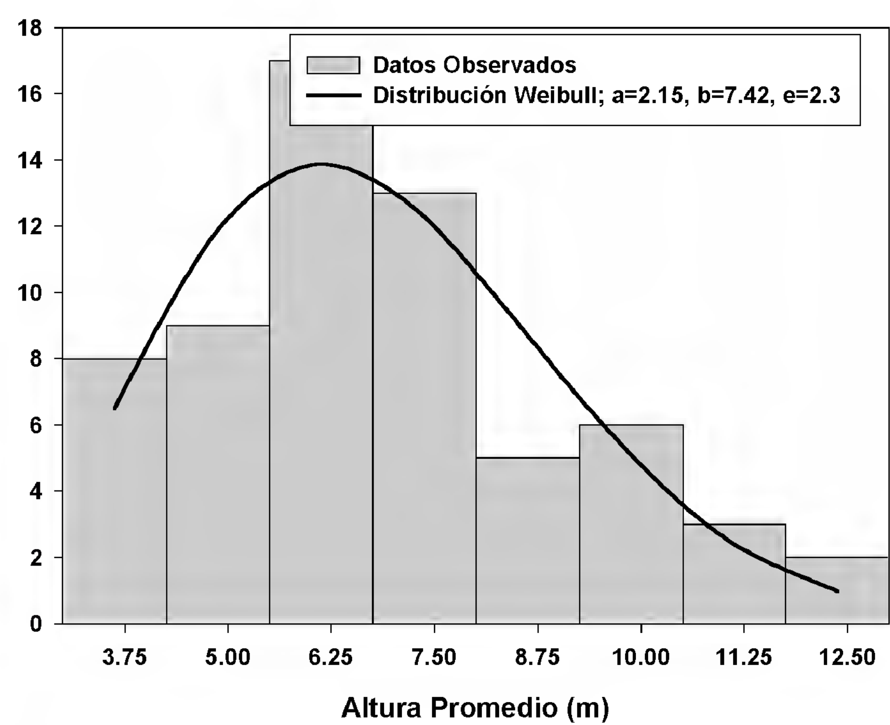


Figura 3. Distribución de alturas promedio observada y modelada por la distribución Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

La densidad promedio del arbolado indica que los bosques se encuentran por lo general muy por debajo de la densidad óptima, pues el promedio es de 424 árboles por hectárea (± 64 árboles por hectárea) con una desviación estándar de 309 árboles por hectárea. La moda se encuentra en los 375 árboles por hectárea (Figura 4). La probabilidad de encontrar sitios con densidad óptima, es decir, con densidades superiores a los 700 individuos por hectárea es de 17%.

La proporción en la distribución de productos forestales se deriva de la figura 5, donde se presentan las estructuras diamétricas de todas las especies presentes además de las probabilidades de obtener productos para aserrío y triplay, derivados de la ecuación de ahusamiento de Newnham (1992) para *P. pseudostrobus* (Návar, inédito). Por ejemplo, para la clase diamétrica de 20 cm con una probabilidad esperada de presentarse de 44%, sólo 27% de la troza se dedica al aserrío. La altura promedio para un pino de 20 cm de diámetro normal es de entre 6,6 y 8,9 m. Es probable que no se alcance a derivar una troza de longitud mínima de 2,52 m para aserrarla.

Los volúmenes rollo total árbol (que incluyen el tocón, el fuste y las ramas) para estos bosques, en promedio se encuentran en los 115 m^3 ha^{-1} (± 26,5 m^3 ha^{-1}), con una desviación estándar de 107,2 m^3 ha^{-1}. De acuerdo con la distribución Weibull, la probabilidad de encontrar rodales con densidades volumétricas superiores a los 150 m^3 ha^{-1} es de 27% y de 250 m^3 ha^{-1} es de 10% (Figura 6).

La edad promedio de los árboles de los 63 sitios fue de 58 años (± 6 años) con una desviación estándar de 24 años. Es decir la edad de las masas forestales se encuentra en general por debajo del turno técnico, de acuerdo con los incrementos diamétricos. La probabilidad de encontrar bosquetes con edades superiores al turno que es de 75 años, de acuerdo con los parámetros de la distribución Weibull (Figura 7) es de 18%.

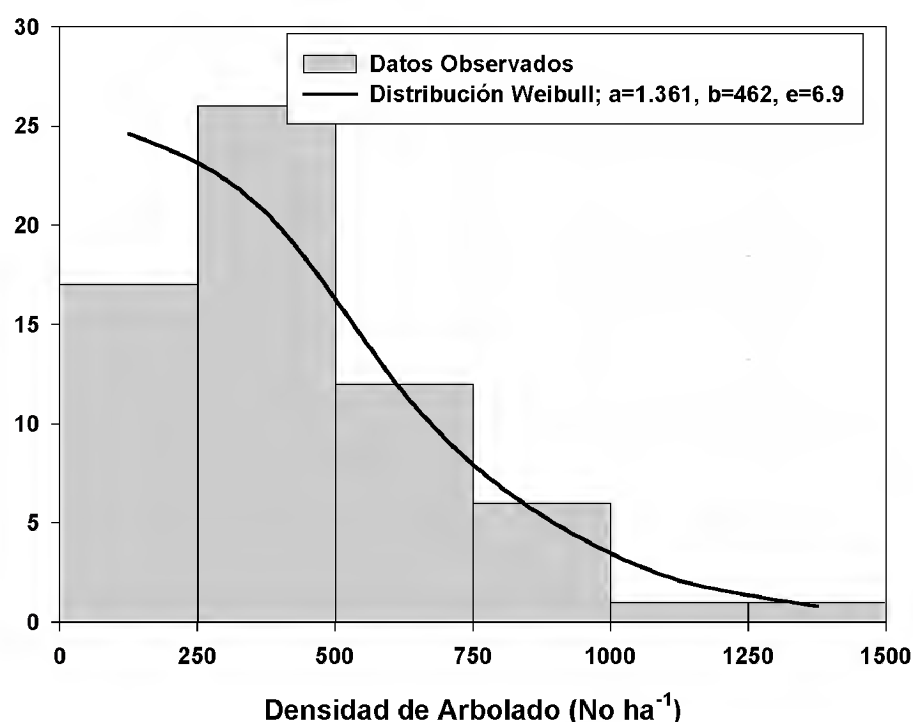


Figura 4. Distribución de la densidad del arbolado observada y modelada por la función de densidad Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

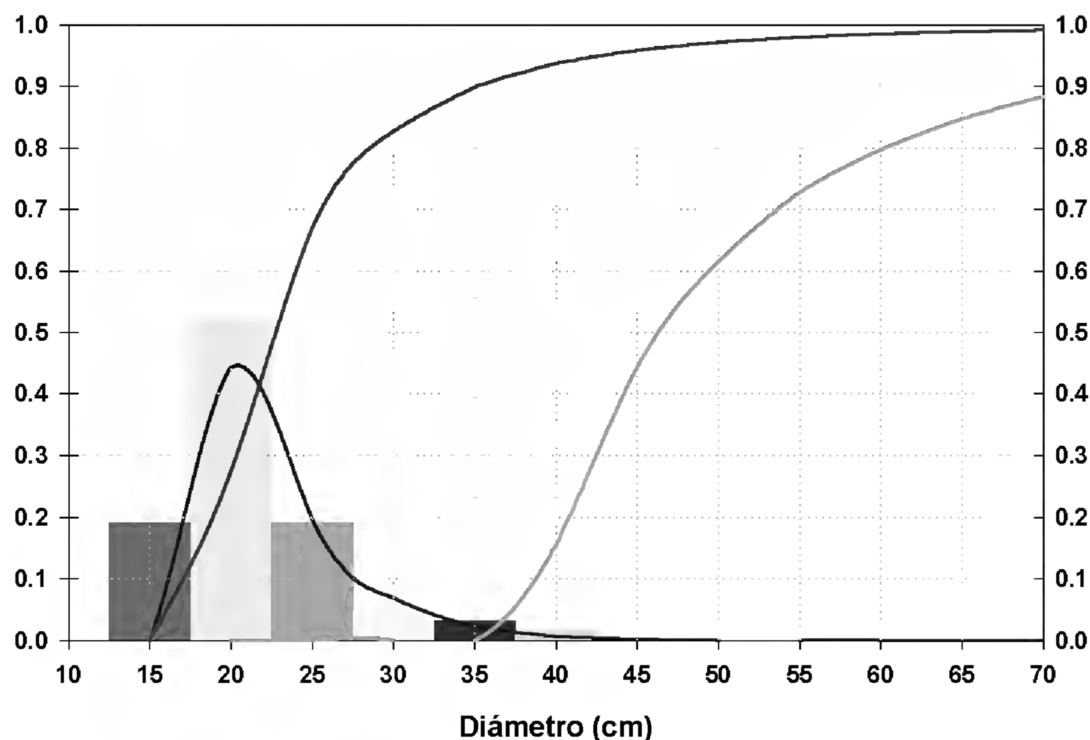


Figura 5. Distribuciones diamétricas y de ahusamiento para las especies de Nuevo León, México.

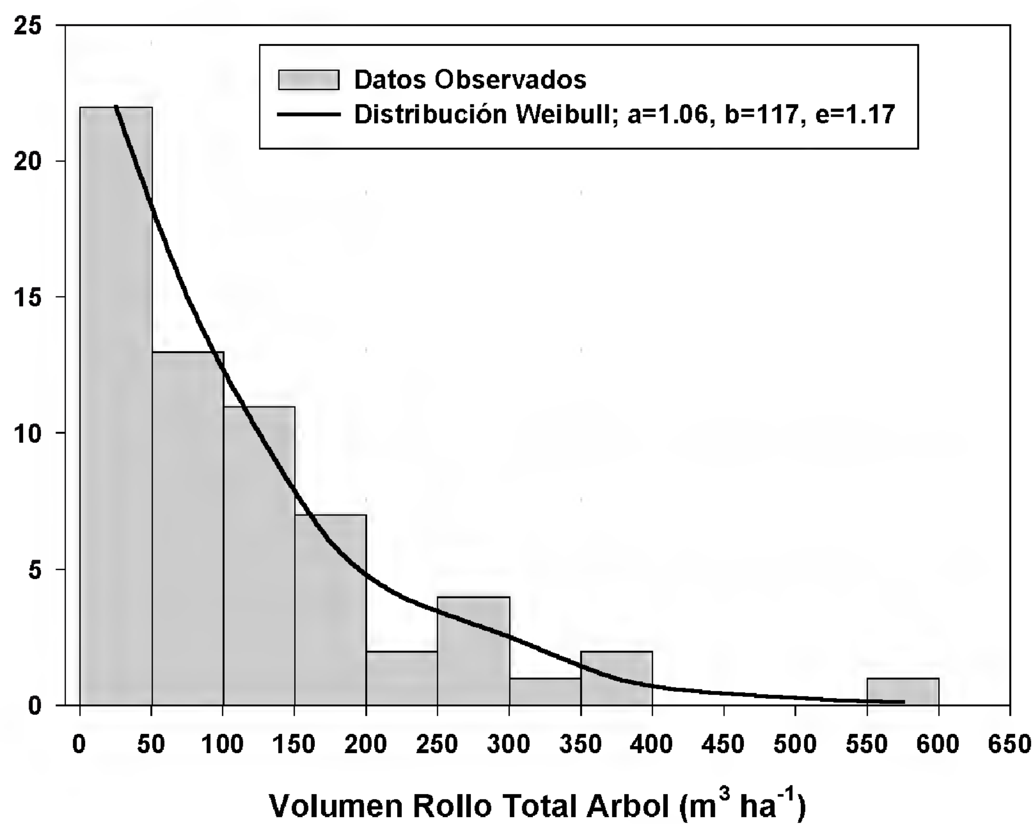


Figura 6. Distribución del volumen rollo total árbol observada y modelada por la función de densidad Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

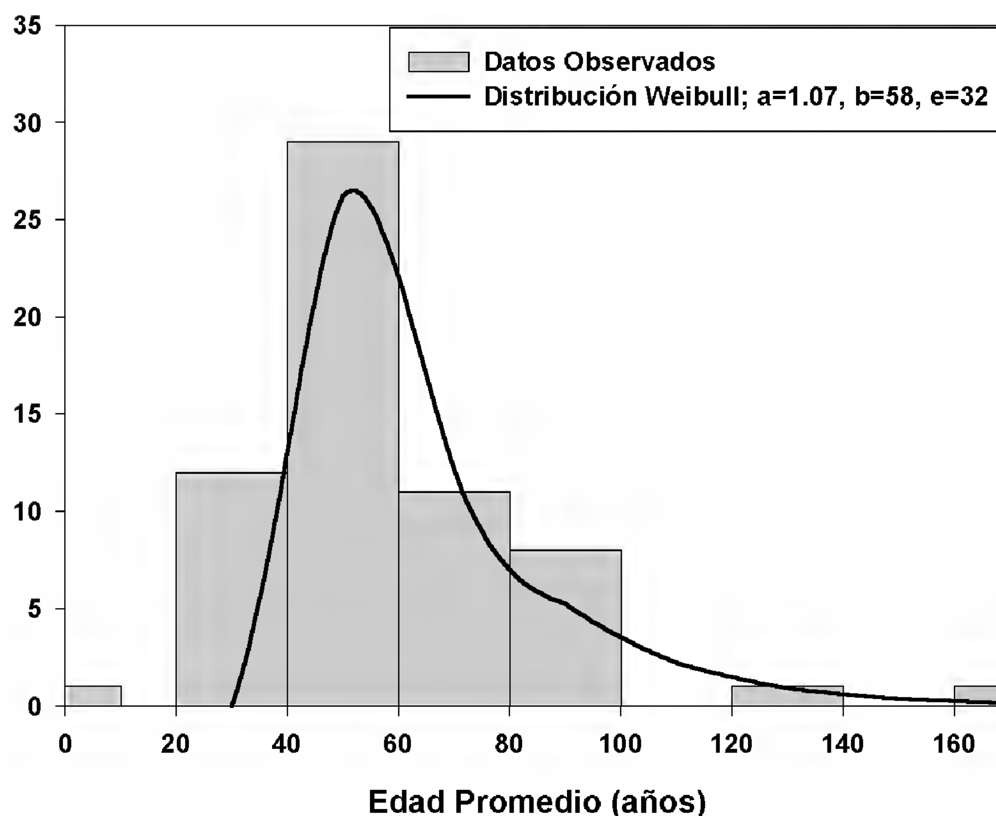


Figura 7. Distribución observada y modelada de edades de los árboles promedio de los 63 sitios, inventariados en los bosques templados del estado de Nuevo León.

El tiempo de paso de los árboles muestreados tiene un promedio de 18,4 años (± 1 año), con una desviación estándar de 4,1 años. Los árboles tardan casi 20 años en crecer un promedio de 5 cm en diámetro esto es a una tasa de 0,27 cm a^{-1}. Sin embargo, de acuerdo con la distribución Weibull de los tiempos de paso con un incremento diamétrico de 0,50 cm a^{-1}, sólo 3% de los bosques reúnen estos altos crecimientos diamétricos (Figura 8).

El tiempo de paso se encuentra intrínsecamente relacionado con la edad de los árboles y estos parámetros se ajustan a una función de potencia (Figura 9). El incremento diamétrico se reduce desde 0,414 cm a^{-1} a una edad de 15 años hasta 0,279 cm a^{-1} a una edad de 50 años.

Los incrementos medio y corriente anual y la edad de los árboles se ajustaron a funciones de potencia (Figura 10). Contrario a la experiencia, los incrementos medios anuales son mayores que los incrementos corrientes anuales. Esto sucede por el artefacto logístico del cálculo del IMA, el cual incluyó la corteza, mientras que el cálculo del ICA no incluyó este componente. A pesar de esta pequeña debilidad en la estimación de los incrementos, se observa que estos se cruzan adecuadamente a una edad de 75 años que corresponde al turno técnico en crecimiento diamétrico.

En las figuras 9 y 10 los coeficientes de determinación, r^2, son bajos para la relación entre el ICA y la edad de los árboles. Sin embargo la tendencia está estadísticamente justificada porque la probabilidad del valor de F del modelo de potencia se aproxima al 0,0001.

El incremento corriente anual por hectárea es del orden de 0,90 m^3 ha^{-1} y 0,88 m^3 ha^{-1} para los géneros *Pinus* y *Quercus*, respectivamente. Es notorio que la mayoría del incremento se encuentra en las clases diamétricas de 17,5 cm; 22,5 cm; 27,5 cm y 32,5 cm.

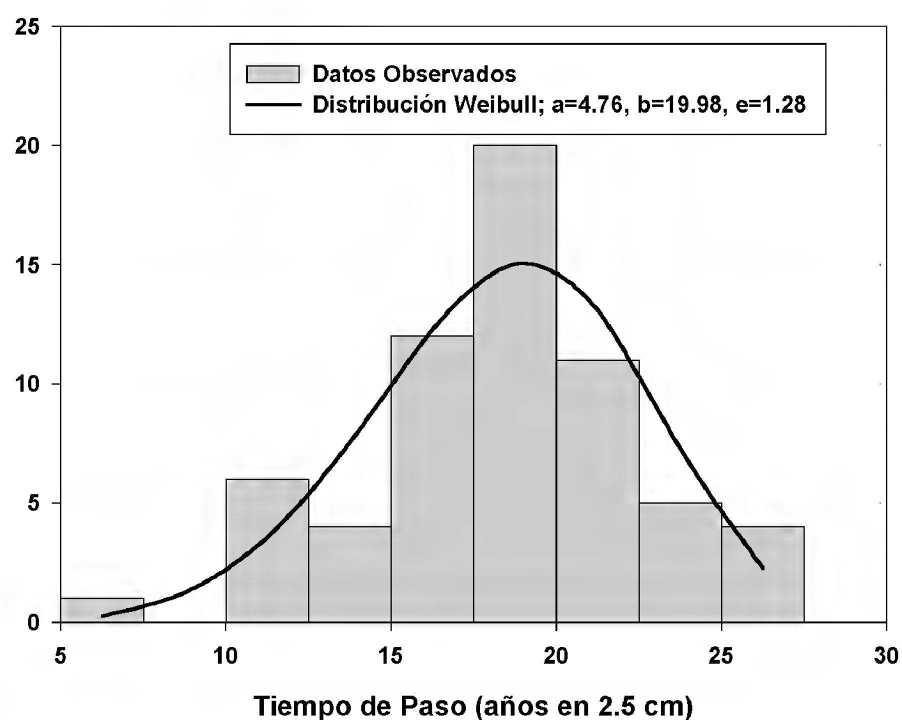


Figura 8. Distribución del tiempo de paso observada y modelada por la función de densidad Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

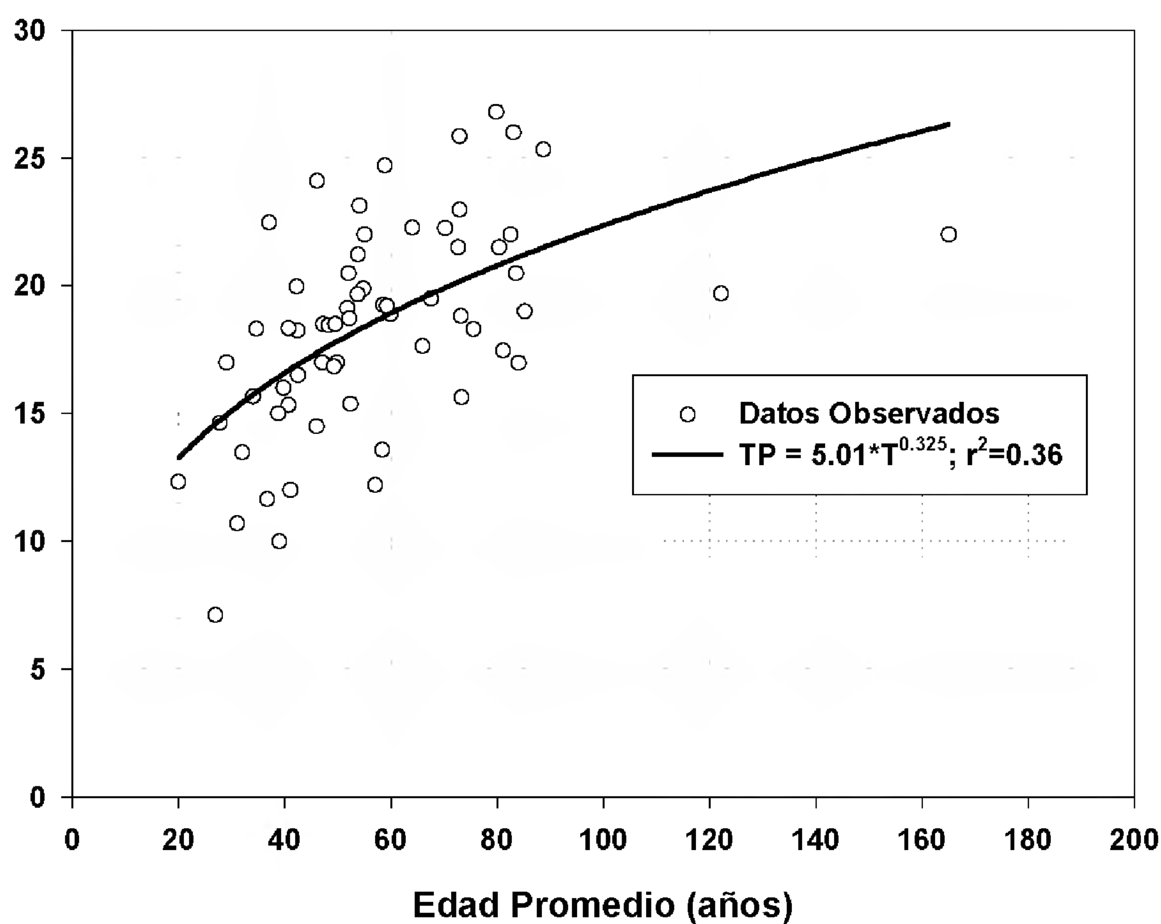


Figura 9. Relación entre el tiempo de paso y la edad promedio de los árboles que componen el sitio, en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

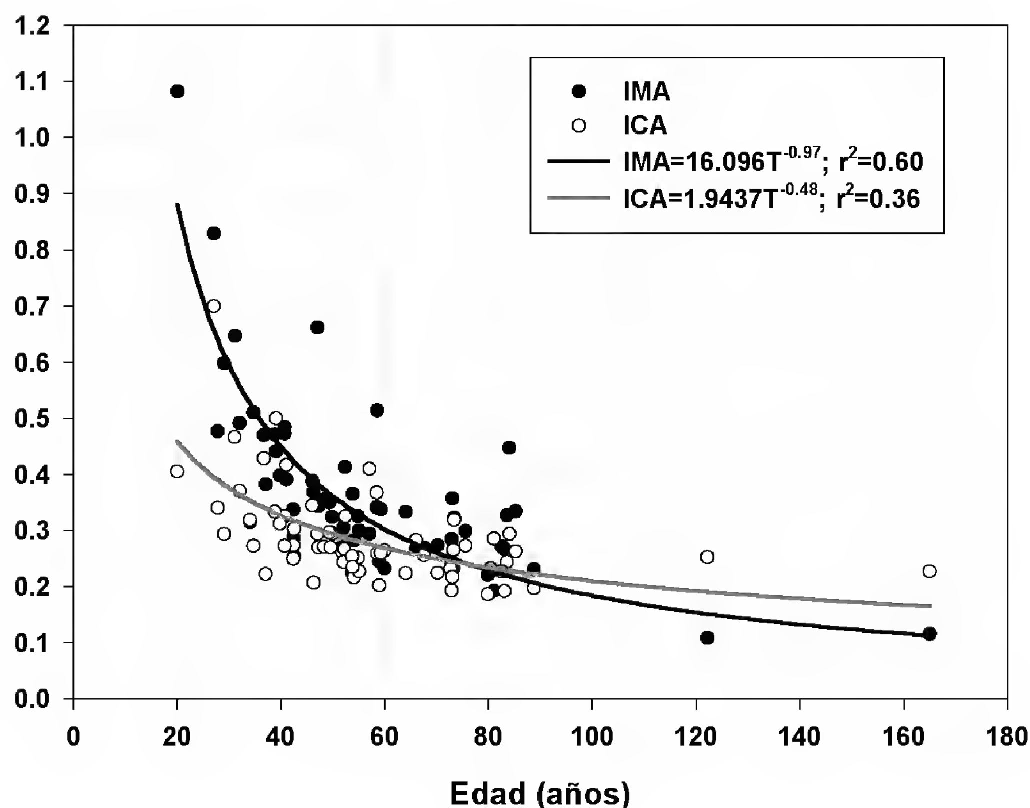


Figura 10. Relaciones entre el ICA e IMA y la edad promedio de 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

El incremento corriente anual de las clases diamétricas por arriba de 35 cm asciende a 0,075 m^3 a^{-1} para *Pinus* y de 0,28 m^3 a^{-1} para *Quercus*, que juntos contabilizan un total de 0,36 m^3 a^{-1}.

Las extracciones anuales autorizadas y reportadas por la Semarnat (2008) para el 2004 para el estado de Nuevo León ascienden a los 16 500 m^3 a^{-1} de pino y de 3 700 m^3 a^{-1} de encino. Estos volúmenes de extracción son bajos para los volúmenes de incremento total o de incremento de los árboles con D > 35 cm de diámetro normal, si se consideran las 300 000 ha de bosques que se reportan para el estado de Nuevo León, México.

Si se dedicaran los volúmenes de la trocería con clases diamétricas por arriba de los 35 cm al aserrío, de acuerdo con las proporciones que se obtienen con la curvas de ahusamiento, para los bosques de pino encino, en total se utilizarían sólo 13 189 m^3 a^{-1} y el restante se contabilizaría como trocería de cortas dimensiones y ramas que asciende a los 9 673 m^3 a^{-1}.

Los incrementos volumétricos por clase diamétrica se reportan en la figura 11, de donde se destaca que el crecimiento en volumen anual promedio para estos bosques se encuentra cerca de los 2,5 m^3 a^{-1}; de los cuales 1,26 m^3 a^{-1} y 1,23 m^3 a^{-1} se reportan para coníferas y latifoliadas, respectivamente.

La densidad de biomasa y carbono de los bosques templados de Nuevo León

La figura 12 muestra que la densidad de la biomasa se encuentra en estado de desarrollo, con muchos sitios con baja densidad y pocos sitios con una alta cantidad de biomasa. La densidad de biomasa aérea promedio para los bosques del estado de Nuevo León es de 74,16 Mg ha^{-1} (±11,89 Mg ha^{-1}), con una desviación estándar de 60,07 Mg ha^{-1}.

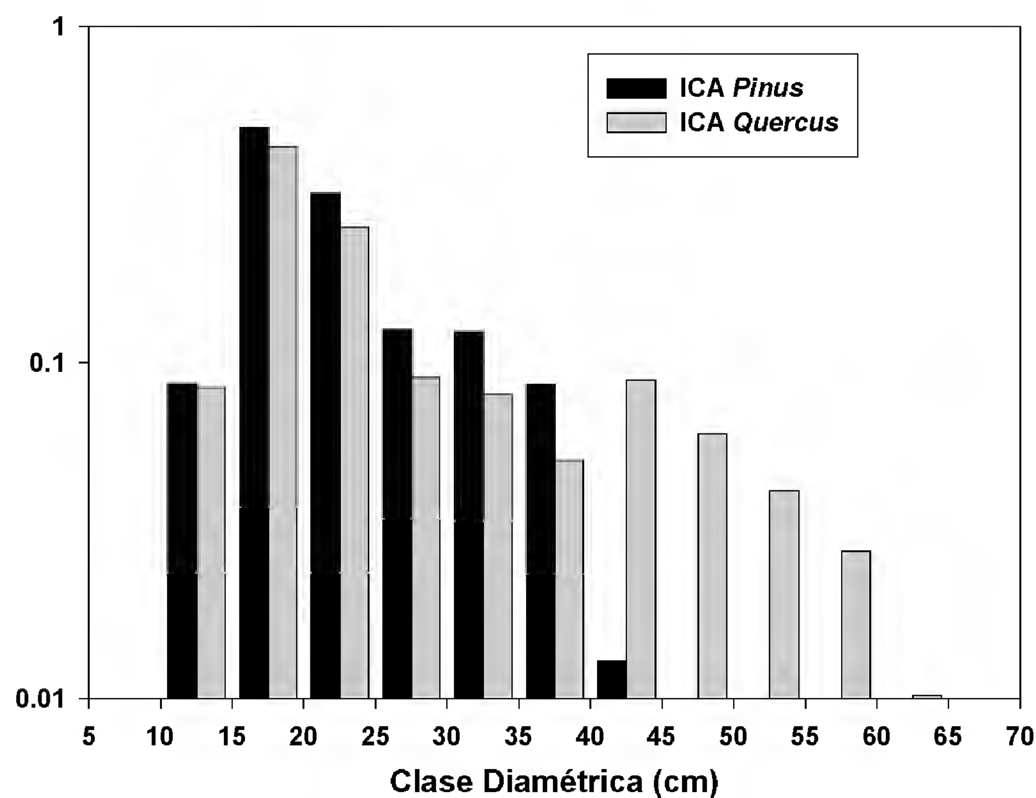


Figura 11. Volúmenes de incremento anual por clase diamétrica para las comunidades de pino y encino de los bosques templados del estado de Nuevo León, México.

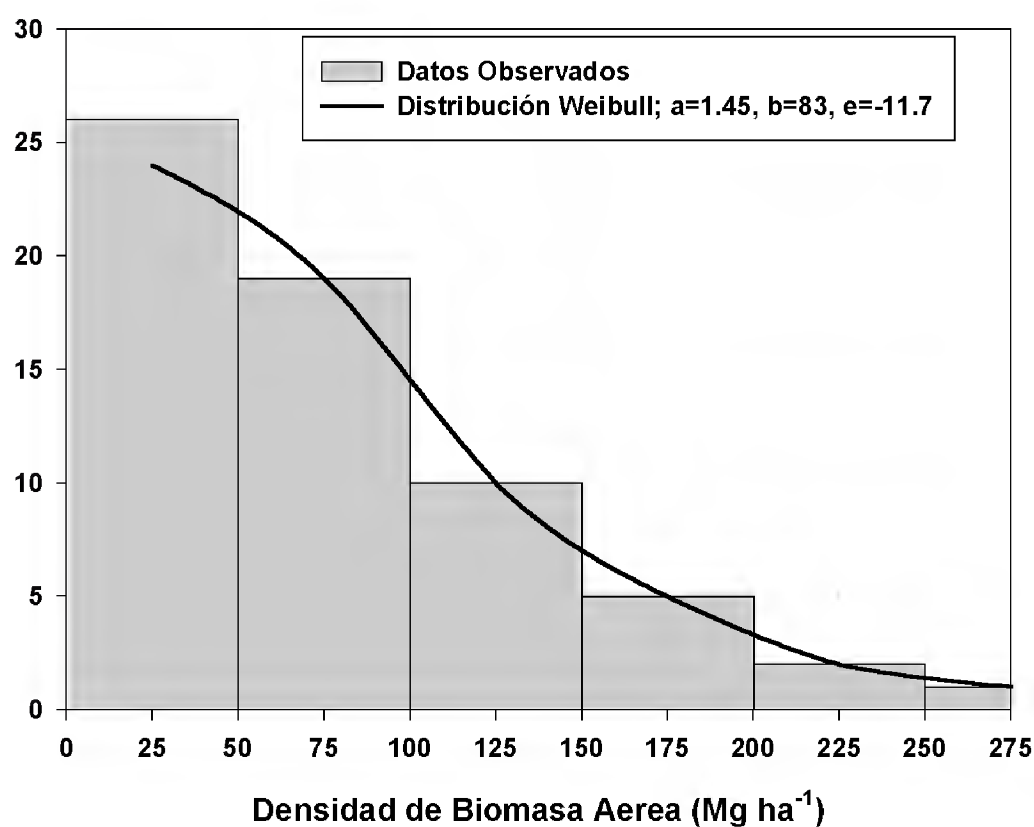


Figura 12. Distribución de la densidad de la biomasa observada y modelada por la función de densidad Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

De acuerdo con la función de densidad Weibull, las probabilidades de encontrar bosquetes del estado con densidades de biomasa por arriba de los 100 Mg ha^{-1} y 200 Mg ha^{-1} son de 26% y de 1,6%, respectivamente.

Los incrementos anuales de biomasa y tasas anuales de secuestro de carbono en la biomasa aérea se reportan en la tabla 3.

La diversidad biológica arbórea de los bosques templados -encino de Nuevo León

Los bosques templados del estado de Nuevo León muestran sólo en promedio 3,8 especies (±0,45 especies), con una desviación estándar de 2,27 especies por sitio de inventario (1 600 m^2). Es decir, la mayoría de los sitios inventariados tiene entre 1,5 y 6,1 especies arbustivas y arbóreas.

Los valores del índice de diversidad de Menhinick se presentan en la figura 14. Este índice registra un valor promedio (± intervalo de confianza) de 6,84 (±0,55), con una desviación estándar de 2,21. Los valores se ajustan adecuadamente a una distribución casi simétrica Weibull, con parámetros de escala, forma y localización de 2,16; 7,43 y 2,31 respectivamente.

Relaciones entre la diversidad-estructura y productividad

La diversidad y la productividad se encuentran relacionadas a través del índice de Menhinick y el IMA (*i.e.*, *Menhinick= 0,395+0,401IMA;* r^2*= 0,044; p= 0,09*). La relación, aunque posee un valor de coeficiente de determinación bajo, es estadísticamente significativa y positiva, con una pendiente de 0,40, mostrando que por cada unidad de IMA aumenta el índice de Menhinick por 0,40 unidades.

Tabla 3. Incrementos anuales de biomasa y de secuestro de carbono en la biomasa aérea por clase diamétrica de los bosques templados de Nuevo León, México.

	Pinus				*Quercus*			
Clase diámétrica	Biomasa total i	Biomasa total i+1	Incremento biomasa	Secuestro Carbono	Biomasa total i	Biomasa total i+1	Incremento biomasa	Secuestro carbono
12,5	1,18	1,24	0,06	0,03	2,19	2,27	0,08	0,04
17,5	7,26	7,53	0,27	0,14	14,04	14,49	0,44	0,22
22,5	4,84	4,99	0,15	0,07	9,63	9,89	0,26	0,13
27,5	1,96	2,01	0,05	0,03	3,99	4,09	0,09	0,05
32,5	1,95	1,99	0,05	0,02	4,06	4,14	0,08	0,04
37,5	1,37	1,40	0,03	0,01	2,91	2,96	0,05	0,03
42,5	0,20	0,21	0,00	0,00	5,62	5,71	0,09	0,05
47,5	0,07	0,07	0,00	0,00	4,29	4,35	0,06	0,03
52,5	0,02	0,02	0,00	0,00	3,17	3,21	0,04	0,02
57,5	0,01	0,01	0,00	0,00	2,28	2,31	0,03	0,01
62,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,93	0,01	0,01
Total	18,87	19,48	0,61	0,31	53,09	54,35	1,26	0,63
Total por hectárea			0,61	0,3063			1,26	0,63

i = año actual, i+1 = año siguiente; el incremento resulta de la diferencia entre el año i y el año i+1.

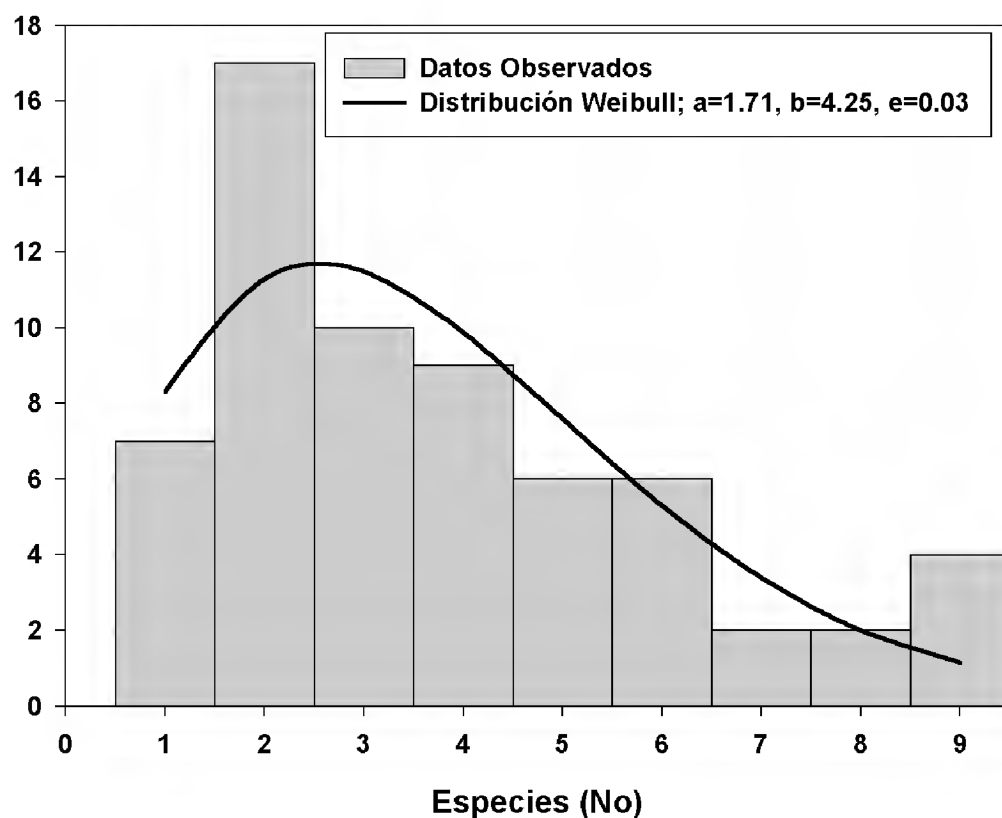


Figura 13. Distribución del número de especies arbóreas y arbustivas observada y modelada por la distribución Weibull para todas las especies, inventariadas en 63 sitios en los bosques templados del estado de Nuevo León.

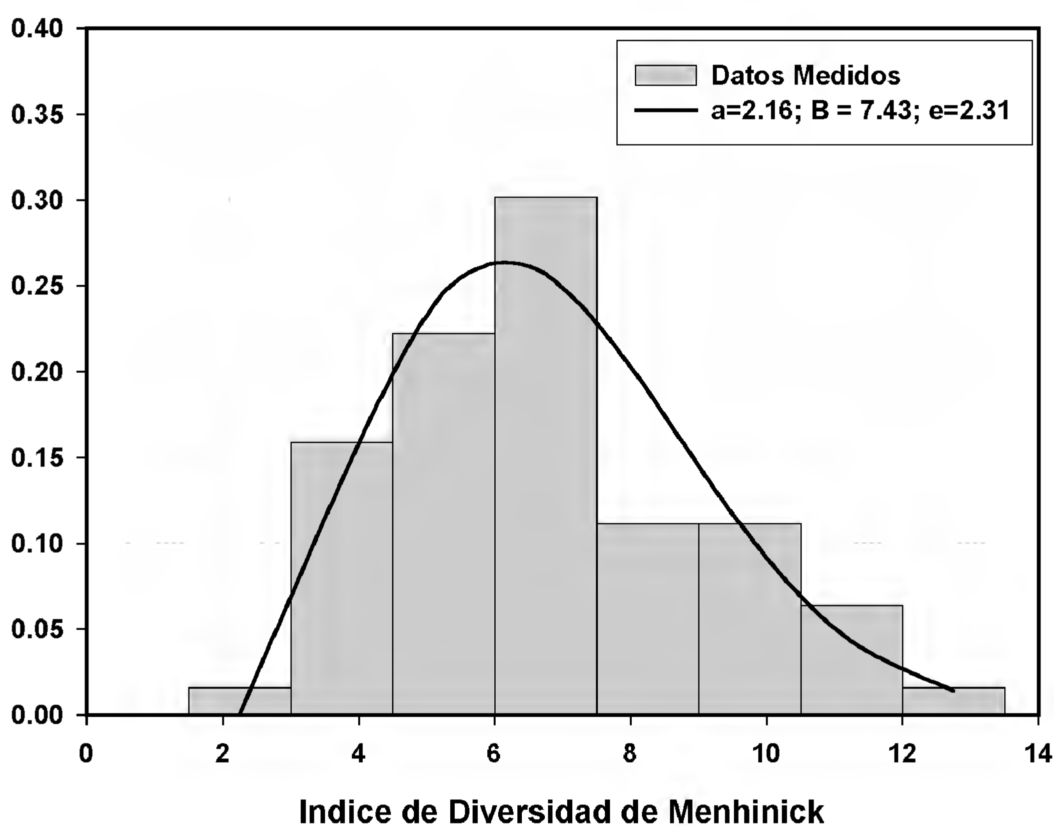


Figura 14. Distribución del índice de diversidad de Menhinick observada y modelada por la función de densidad Weibull, para todos los sitios inventariados en los bosques templados del estado de Nuevo León.

La productividad y la diversidad estructural se encuentran estrechamente relacionadas. El ICA se relacionó positivamente con la diversidad estructural en diámetro Dd (*i.e.*, $ICA= 0,237+0,0056Dd$; $r^2= 0,045$; $p= 0,09$) y con la diversidad en alturas Dh (*i.e.*, $ICA= 0,22+0,025Dh$; $r^2= 0,12$; $p= 0,0048$). Las pendientes de estas relaciones fueron 0,005 y 0,025 para la diversidad diamétrica y en alturas, respectivamente, indicando que el incremento corriente anual de los pinos aumenta por estas unidades a medida que la diversidad en diámetros y en alturas crece. El IMA se relacionó con la variación en diámetros Dd (*i.e.*, $IMA= 0,22+0,015Dd$; $r^2= 0,10$; $p= 0,012$) y con la dispersión en alturas Dh (*i.e.*, $IMA= 0,27+0,031Dh$; $r^2= 0,06$; $p= 0,058$). Las pendientes de estas relaciones fueron 0,016 y 0,031 para la variación en diámetros y en alturas, respectivamente. Es decir, el incremento medio anual crece por estos valores con un aumento unitario en la diversidad en diámetro y en altura.

DISCUSIÓN

Los bosques templados del estado de Nuevo León se encuentran en un estado juvenil, donde las distribuciones diamétricas de los bosques y de todas las especies presentes se encuentran simulando un J invertida; con diámetros y alturas promedio de 18,62 cm y de 6,84 m, respectivamente. Sólo individuos de *Picea* spp. y *Pseudotsuga* spp., especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001, presentan diámetros promedios mayores. La edad promedio es de 58 años, con un tiempo de paso de 18,4 años para pasar de una categoría diamétrica a otra. Como era de esperarse esta variable estuvo relacionada con la edad de los árboles a través de una función de potencia, con una pendiente positiva y menor que 1,0 indicando que el tiempo de paso disminuye con la edad de los árboles.

Las existencias reales promedio son del orden de 115 m^3 ha^{-1} y son consideradas bajas, con respecto a las existencias reales presentadas por Návar (2009) para los bosques de la Sierra Madre Occidental del centro sur de Durango, México. Los bosques presentan productividades estimadas por el incremento corriente anual de 0,90 m^3 ha^{-1} y 0,88 m^3 ha^{-1} para los géneros de coníferas y latifoliadas, respectivamente. Es decir, estos bosques presentan como promedio cerca de 2,0 m^3 ha^{-1} y esta productividad es considerada como promedio para bosques templados.

La densidad de biomasa aérea promedio para los bosques del estado de Nuevo León es de 74,16 Mg ha^{-1} (±11,89 Mg ha^{-1}), con una desviación estándar de 60,07 Mg ha^{-1}. De acuerdo con la función de densidad Weibull, las probabilidades de encontrar bosquetes del estado con densidades de biomasa por arriba de los 100 Mg ha^{-1}y 200 Mg ha^{-1} son de 26% y de 1,6%, respectivamente. La densidad de biomasa es menor que aquella reportada para bosques tropicales, donde se registran valores de 225 Mg ha^{-1} para la Península de Yucatán (Cairns *et al*., 2000), 265 Mg ha^{-1} para Veracruz (Cairns *et al*., 2000). Este valor es similar a los 73,6 Mg ha^{-1} para la selva tropical seca de Jalisco (Castellanos *et al*., 1991) o de 94-124 Mg ha^{-1} para un bosque tropical del centro de México (Jaramillo *et al*., 2003). De 640 sitios inventariados en la zona centro sur de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango presentan 130 Mg ha^{-1} (Návar, 2009).

Los bosques templados de Nuevo León presentan baja diversidad arbórea porque presentan en promedio cerca de 4 especies, cuando los bosques templados de la Sierra Madre Occidental presentan en promedio 6 especies arbóreas (Graciano, 2001).

Se encontraron relaciones positivas y estadísticamente significativas entre la diversidad y la productividad. Otros investigadores (*i.e.*, Tilman *et al.*, 1997) han notado que los bosques diversos son más productivos que los bosques menos diversos y lo mismo sucede con las comunidades de pastizales (Hector *et al.*, 1999).

Asimismo, se observaron relaciones positivas y estadísticamente significativas entre la productividad y la complejidad estructural. La complejidad estructural descrita como la variabilidad espacial en un espacio tridimensional de un bosque, resulta en una mayor productividad de los ecosistemas forestales (Hiura, 2001; Ishii *et al.*, 2004). La complementariedad fenológica y la asincronía de las especies en el uso de recursos y el crecimiento pueden explicar cómo la diversidad de especies influye en la función de los ecosistemas (Stevens y Carson, 1999; Hooper y Vitousek, 1997). Esta información, científicamente señalada en los reportes de investigación descritos y con la evidencia estadística observada en este estudio, es indicativa de la necesidad de implementar prescripciones silvícolas tendientes a mantener la mayor diversidad de especies arbóreas y arbustivas así como la diversidad estructural en las tres dimensiones (diámetros y alturas) de los bosques templados de Nuevo León para influir positivamente en la productividad (incrementos diamétricos medio y corriente anual) de estos ecosistemas.

Las prácticas silvícolas que se recomiendan son: *a)* mantener la distribución diamétrica en una forma J invertida, más de dos estratos verticales por especies y entre las especies y la diversidad de especies arbóreas y arbustivas; esto se puede realizar por la extracción de árboles de todas las especies de todas las clases diamétricas, como se señaló en la primera parte de este documento; *b)* mantener hasta donde sea posible la regeneración natural de los bosques templados, a través de cercado de áreas, prácticas de pastoreo sustentable, control de incendios por presencia del ser humano; *c)* realizar hasta donde sea posible el derribo direccional sin perturbar principalmente a las otras especies presentes y *d)* otras prácticas sustentables.

CONCLUSIONES

Los bosques templados del estado de Nuevo León se encuentran en un estado de transición importante pues su edad promedio no sobrepasa los 60 años y por consiguiente se encuentran en estado juvenil, por debajo del turno técnico. Esto se demuestra por lo sesgado de las distribuciones diamétricas hacia la derecha y en ocasiones semejando la curva de Liocourt o J invertida. Debido a este estado, los volúmenes de extracción son bajos y los crecimientos son altos, del orden de cerca de los 2,5 m^3 por año pero que, en su mayoría, se encuentran en el género *Quercus* y en las clases diamétricas más bajas de ambos géneros. Esto hace que el balance del carbono sea altamente positivo para estos bosques, con la posibilidad de ser considerados en los programas para el pago de los servicios ambientales por captura de carbono. Esta productividad se encuentra controlada parcialmente por la diversidad biológica arbórea y estructural (diámetro y altura), y como consecuencia se recomienda aplicar prácticas silvícolas con objetivos de aumentar la diversidad biológica arbórea de los bosques y la diversidad estructural en diámetros y alturas para aumentar la productividad de estos ecosistemas.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a todas aquellas personas que auxiliaron en la toma de datos de

campo del Inventario Nacional Forestal en el estado de Nuevo León. Asimismo, se agradece a los revisores anónimos que de alguna manera contribuyeron a mejorar el contenido técnico y gramático de este documento.

REFERENCIAS

Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. *In*, Actas del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos forestales y árboles. Vol 1. Antalya, Turquía, 13-22 de octubre.

Cairns, M.A., P.K. Haggerty, R. Alvarez, B.H. J. De Jong e I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle. Ecological Applications, Vol. 10:1426-1441.

Castellanos, J., M. Mass y J. Kummerow. 1991. Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. Plant and Soil 131:18-33.

Clark, D.A., S. Brown, D.W. Kicklighter, J.Q. Tomlison y J. Ni. 2001. Measuring net primary production in forests; concepts and field methods. Ecological Applications 11(2):356-370.

Graciano, L.J.J. 2001. Técnicas de evaluación dasométrica y ecológica de los bosques de coníferas bajo manejo de la Sierra Madre Occidental del centro sur de Durango, México. Tesis de maestría en ciencias forestales. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N.L., México.

Clutter, J.L., J.C. Forston, L.V. Pienaar, G.H. Brister y R.L. Bailey. 1983. Timber management: A quantitative approach. Wiley, Nueva York. 333 p.

Hector, A., B. Schmidt, C. Beierkuhnlein, M.C. Caldeira, M. Diemer, P.O. Dimitrakopoulos, J.A. Finn, H. Freitas, P.S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Hogberg, K. Huss-Uanell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Korner, P.W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C.P.H. Mulder, G. O'Donovan, S. Otway, J.S. Pereira, A. Prinz, D.J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.D. Schulze, A.S.D. Siamantziouras, E.M. Spehn, A.C. Terry, A.Y. Troumbis, F.J. Woodward, S. Yachi y J.H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. Science 286:1123-1127.

Hiura, T. 2001. Stochasticity of species assemblage of canopy trees and understory plants in temperate secondary forest created by major disturbances. Ecological Research 16:887-893.

Hooper, D.U. y P.M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. Science 277:1302-1305.

http://www.mtclimatechange.us/ewebeditpro/items/O127F9879.pdf.

Hughes, R.F., J.B. Kauffman y V.J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. Ecology 80:1892-1907.

Jaramillo, V.J., J.B. Kauffman, L. Renteria-Rodriguez, D.L. Cummings y L.J. Ellingson. 2003. Biomass, carbon and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. Ecosystems 6:609-629.

Jenkins, J.C., R.A. Birdsey e Y. Pan. 2001. Biomass and NPP estimation for the mid-atlantic region (USA) using plot-level forest inventory data. Ecological Applications 11:1174-1193.

Ishii, H.T., S.I. Tanabe y T. Hiura. 2004. Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems. Forest Science 50:342-355.

Merlin-Bermúdez, E. y J. Návar. 2005. Desarrollo de un modelo de rendimiento e incremento para *Quercus sideroxyla* en bosques mixtos de Durango, México. Agrofaz 5(2):875-882.

Návar, J. y J. Contreras. 2000. Ajuste de la distribucion Weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino de Durango, Mexico. Agrociencia 34:356-361.

Návar, J., E. Mendez, J. Graciano, V. Dale y B. Parresol. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. Journal of Arid Environments 59(4):657-674.

Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. Forest Ecology and Management, doi:10.1016/j.foreco.2008.09.028. 257:427-434.

Návar, J. 2010. Volume component equations for tree species and biomass expansion factors for temperate forests of northwestern Mexico. En prensa en Western Journal of Applied Forestry.

Návar, J. 2009a. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. Annals of Forest Science 66:208-216.

Návar, J. 2010. Taper functions and merchantable timber for temperate forests in northern Mexico. Inédito.

Newnham, R.M. 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. Can. J. For. Res. 22:210-223.

Palacio-Prieto, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J.F. Mas, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo y F. González. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. Universidad Nacional Autónoma de México. Investigaciones Geográficas 43:183-203.

Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey y C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forest of the United States using inventory data. For. Sci. 43(3):424-434.

Semarnat (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Estadísticas ambientales. México, D.F.

Stevens, M.H. y W.P. Carson. 1999. Plant diversity determines species richness along an experimental fertility gradient. Ecology 80:455-465.

Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie y E. Seimann. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. Science 277:1300-1302.

Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield; applications to mixed tropical forest. Centre for Ag. and Biosci. International Wallingford, Reino Unido, 312 p.

Manuscrito recibido el 16 de junio de 2008
Aceptado el 11 de diciembre de 2009

Este documento se debe citar como: Návar-Cháidez, J.J. 2010. Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques* 16(1):51-69.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México

Dendrochronology of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco from Sierra Madre Oriental in Nuevo León, México

María Rafaela Arreola-Ortiz[1], Martha González-Elizondo[2]
y José de Jesús Návar-Cháidez[3]

RESUMEN

Se desarrollaron cronologías para *Pseudotsuga menziesii* de tres sitios en la Sierra Madre Oriental, en el estado de Nuevo León, México: El Potosí, La Marta y La Encantada. Los coeficientes de correlación entre cronologías, pruebas de normalidad en la amplitud y el índice de amplitud de los anillos de crecimiento radial indican la regionalización del clima y una decadencia del crecimiento radial de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. La reducción del crecimiento radial de las poblaciones estudiadas parece estar relacionada con el cambio climático.

PALABRAS CLAVE:
Anillos de crecimiento, cambio climático, decadencia en el crecimiento radial, regionalización del clima, sensibilidad media climática.

ABSTRACT

Tree-ring chronologies for *Pseudotsuga menziesii* were constructed for three sites of the Sierra Madre Oriental mountain range of the state of Nuevo Leon, Mexico: El Potosí, La Encantada and La Marta. The correlation coefficients between chronologies, the normality tests on the ring width, and an index of ring width indicate both, the climate regionalization and the decadence on diameter growth of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco populations. Potential subtle climatic changes may be contributing to the decline of radial growth of the three plant communities studied.

KEY WORDS:
Tree rings, climate change, decadence of annual ring growth, climate regionalization, mean climatic sensibility.

INTRODUCCIÓN

En México se han realizado pocos estudios dendrocronológicos. Entre los más recientes se encuentran los reportados para la Sierra Madre Occidental, en el estado de Durango (González-Elizondo *et al*., 2005); Sierra los Ajos, en Sonora (Villanueva y McPherson,

1 Durango, México. mrafaortiz@hotmail.com.mx.
2,3 CIIDIR-IPN Unidad Durango. Sigma 119 Col 20 de Noviembre II. Durango, Dgo. 34220. México. jnavar@ipn.mx.

1999); Sistema Montañoso de Baja California Sur (Díaz-Castro *et al.,* 2001); en algunas regiones del norte, centro y sur de México (Stahle *et al.,* 2000; Therrell *et al.,* 2002) entre otros. Entre las principales aplicaciones de la dendrocronología se encuentran la reconstrucción de eventos y parámetros climáticos tales como: precipitación, temperatura, sequías y periodos lluviosos del pasado. Los parámetros del clima y eventos climáticos ocurridos en el pasado son difíciles de conocer por medio de los registros de las estaciones meteorológicas debido a que no existen registros del clima mayores de 100 o 200 años. Sin embargo, a través de estudios dendrocronológicos es posible reconstruir datos de clima de cientos y en ocasiones hasta de miles de años.

Los anillos de crecimiento de árboles se han usado como fuente de información para establecer historiales hidrológicos (Villanueva *et al.,* 2005), climáticos (Therrell *et al.,* 2002; González-Elizondo *et al.,* 2005), de cambios ecológicos en comunidades forestales (Alvarado *et al.,* 1998), reconstrucción del desarrollo de poblaciones de árboles y modelaje de eventos relacionados con la declinación y mortalidad del arbolado (Villanueva y McPherson, 1999). Estos estudios se han realizado para varias partes del mundo pero, en el estado de Nuevo León, México, existe poca información dendrocronológica sobre los cambios que sufren los bosques a consecuencia de eventos climáticos.

OBJETIVO

El objetivo de esta investigación fue desarrollar las cronologías de *Pseudotsuga menziesii* en tres sitios en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México.

METODOLOGÍA

La Sierra Madre Oriental (SMO) presenta terrenos muy accidentados en forma de sierras paralelas que inician en la parte central de Nuevo León y corren con dirección nor-noreste hacia sur-sureste, hasta el centro de Puebla y Veracruz, donde se une con el Eje Volcánico Transversal. La SMO cubre partes de los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Puebla. Su límite meridional no es fácil de definir ya que se une gradualmente con el Eje Volcánico Transversal (Rzedowski, 1978). Esta cadena de montañas desempeña un papel importante en la regulación de los procesos meteorológicos y en la dinámica hidrológica de la región, ya que actúa como cabecera de las cuencas de la zona noreste del país, dando origen a varios ríos (Návar, 1999; 2001).

La vegetación predominante en la Sierra Madre Oriental está constituida por bosques de pino (*Pinus-Juniperus*), bosques de otras coníferas (*Pinus-Pseudotsuga-Abies*), bosques de pino-encino (*Pinus* y/o *Quercus*), bosques de encino (*Quercus*), bosques de niebla (bosque mesófilo de montaña) y matorral submontano (*Acacia-Pithecellobium-Helietta*) (Alanís *et al.,* 1996).

Para este estudio se consideraron las comunidades de coníferas de *Pinus-Pseudotsuga-Abies,* localizadas en el estado de Nuevo León. Estas son comunidades pequeñas y están compuestas por árboles en su mayoría maduros y pocos longevos, con alturas desde 13 a 30 m, que se localizan en pendientes pronunciadas, con exposiciones norte y noreste principalmente, en lugares con climas fríos y húmedos, la altitud donde se localizaron va desde los 2 350 hasta 3 100 msnm.

El área de estudio se encuentra en la parte de la Sierra Madre Oriental enclavada dentro del estado de Nuevo León que cubre parte de la región centro-oriente del estado, dentro de los municipios de Rayones, Galeana y General Zaragoza.

Los datos de campo se obtuvieron de muestras recolectadas en tres diferentes sitios ubicados en la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León: Cerro El Potosí, Sierra La Marta y La Encantada (Figura 1).

Sierra La Marta se encuentra limitada por las coordenadas geográficas 25º 09' y 25º 15' latitud norte y 100º 20' y 100º 35' longitud oeste (DETENAL, 1978). La ubicación del sitio de muestreo tiene las coordenadas UTM 0353647 (latitud) y 2790611 (longitud) con una altura de 3 100 msnm. De acuerdo con la clasificación de climas de Köeppen modificada por García (1973), este sitio presenta un clima del tipo C(E)x' que corresponde al tipo semifrío subhúmedo con lluvias escasas todo el año, con precipitaciones invernales mayores a 18%.

Franco (1990) y García (2002) reportan que la vegetación de la Sierra La Marta la constituye un bosque formado por *Pseudotsuga menziesii, Pinus hartwegii, P. ayacahuite, Abies vejari* y *Picea mexicana* en el estrato arbóreo; por *Arctostaphylos pungens*, *Quercus emoryi*, *Q. hypoxanta*, *Arbutus xalapensis*, *Cercocarpus mojadensis*, *Juniperus monosperma, Rhus virens, Yucca carnerosana*, *Gymnosperma glutinosum* y *Dasylirion spp.* en el estrato medio; y por *Bromus spp.*, *Vulpia octaflora*, *Geranium mexicanum*, *Hibiscus cardiophyllus* y *Bouteloua spp.* en el estrato herbáceo.

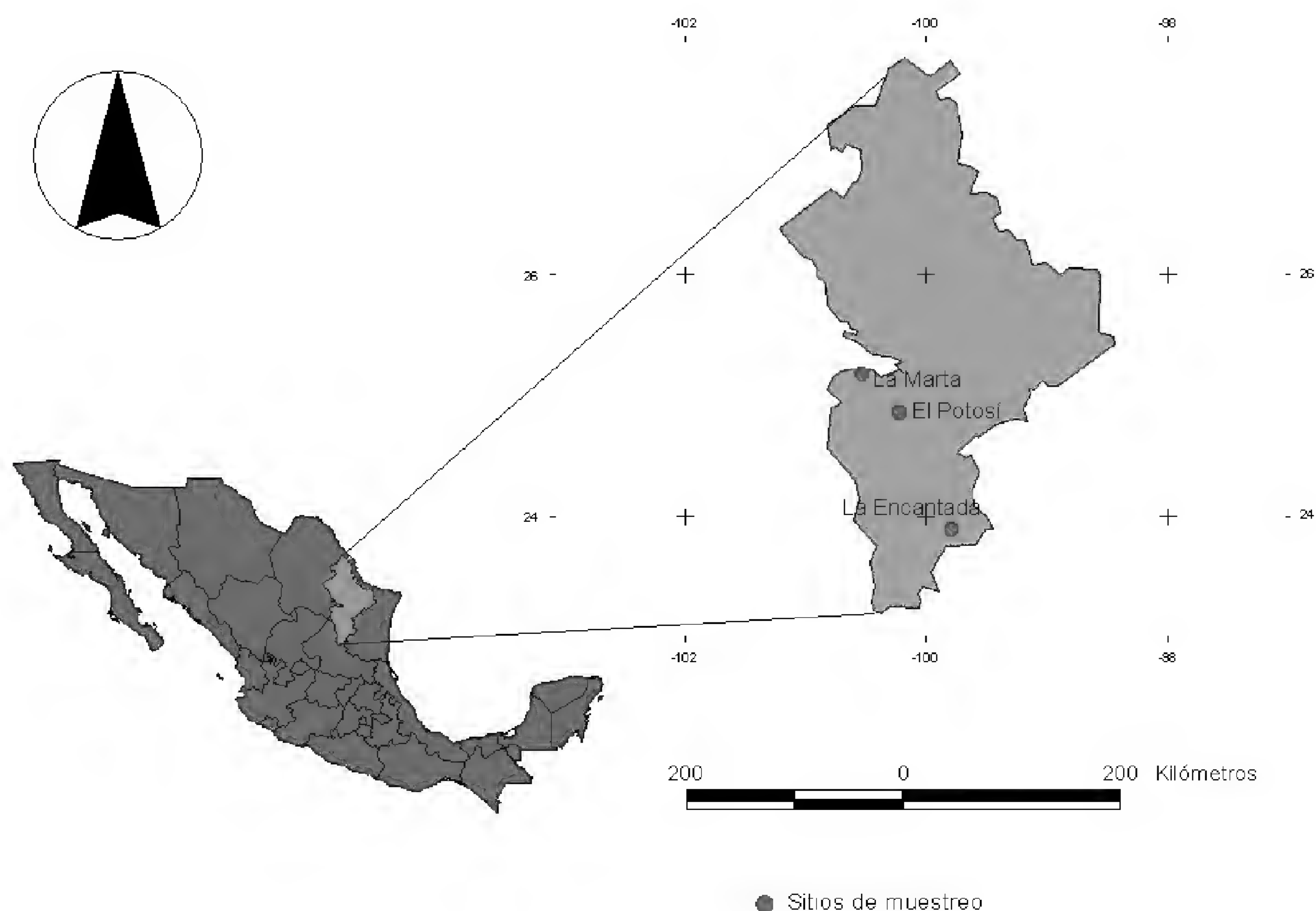


Figura 1. Sitios de muestreo en la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México

Cerro El Potosí se ubica al oeste de la Sierra Madre Oriental, colindando con la Altiplanicie Mexicana (CETENAL, 1977), en el municipio de Galeana, Nuevo León, entre las coordenadas geográficas 24º 50' 45" y 24º 53' 16" latitud norte y los 100º 13' 09" y 100º 15' 12" longitud oeste. El sitio de muestreo se encuentra en las coordenadas UTM 0378879 y 2753615 a una altura de 2 624 msnm. Este sitio presenta un clima C(E)(w1)x' que corresponde al tipo semifrío subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de lluvias invernales mayor de 10,2. Este sitio de muestreo se encuentra entre las isoyetas de 400 y 500 mm (SPP, 1980). El cerro El Potosí presenta una gran variedad de especies vegetales, tales como: *Pinus arizonica, P. cembroides, P. hartwegii, P. ayacahuite, P. culminicola, Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii.*

La Encantada es una comunidad boscosa que se localiza al sur del estado, dentro del municipio Zaragoza, Nuevo León, el cual está ubicado en las coordenadas geográficas 23º 54' latitud norte y 99º47' longitud oeste (DETENAL, 1978a). El sitio se encuentra a una altitud de 2 800 msnm (Mûller-Using, 1994). La ubicación de los sitios de muestreo tiene las coordenadas UTM 0418993 (latitud) y 26410118 (longitud) con un altura promedio de 3 100 msnm.

En la región de la comunidad La Encantada se presentan tres tipos de clima: Cw_1 en la zona de ubicación del pueblo, $Bs_1(k'w)$ (templado-semiseco con pocas precipitaciones en verano) que colinda con el Altiplano Mexicano y $(E)Cw_1$ (templado-frío), perteneciente a las cumbres montañosas de más de 3 000 metros de altura (Mûller-Using, 1994). La temperatura media anual del lugar oscila entre los 12 y los 18°C y la temperatura del mes más frío oscila entre -3 y 18°C (Martínez, 1977).

En los sitios de muestreo se seleccionaron las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* con las características morfológicas deseables para los estudios dendroclimáticos: árboles sobre maduros, de tallo y corteza torcida en forma de espiral, ramas caídas y copa deforme. Generalmente estos árboles crecen en suelos poco profundos y en pendientes pronunciadas; con poca disponibilidad de humedad, lo que los hace muy susceptibles a los cambios climáticos.

En cada sitio de muestreo se registró la siguiente información: *a)* nombre del ejido o comunidad, *b)* nombre del sitio de muestreo, *c)* número de árbol, *d)* exposición, *e)* coordenadas, *f)* altitud, *g)* pendiente, *h)* caracterización del sitio (suelo, vegetación, tipo de aprovechamiento, etc.) e, *i)* observaciones generales. La colecta de muestras o núcleos de crecimiento (también conocidas como virutas) de *Pseudotsuga menziesii* consistió en extraer dos núcleos por individuo, los cuales se tomaron a una altura de 1,30 m del árbol, con dirección perpendicular a la pendiente del terreno, una de cada lado. Las virutas se depositaron en popotes previamente perforados para favorecer la ventilación y evitar el desarrollo de hongos. Los popotes se etiquetaron con los siguientes datos: localidad, fecha, número de muestra, lado por cara muestreada, diámetro normal y condiciones generales del vigor del árbol.

Las muestras o virutas se montaron con pegamento sobre molduras de madera, sujetándolas con cinta adhesiva para evitar su torcedura durante el secado al aire libre por aproximadamente tres días. Una vez que las muestras estuvieron secas, se lijaron y se pulieron para facilitar la observación de los anillos de crecimiento a través de un estereomicroscopio.

El análisis e interpretación de los datos se realizó en tres fases: desarrollo de cronologías, comparación de tendencias entre cronologías y pruebas de normalidad de la amplitud de los anillos de crecimiento.

Desarrollo de cronologías

El desarrollo de cronologías se llevó a cabo por medio de las técnicas tradicionales en dendrocronología (Fritts, 1976) mediante los siguientes pasos:

a) Conteo de anillos. Utilizando un estereomicroscopio, se realizó el conteo de los anillos en todas las muestras obtenidas para conocer la edad aproximada de cada árbol.

b) Skeleton plots. También, con el uso de un estereomicroscopio se efectúo la construcción de la representación gráfica de cada serie de anillos de crecimiento para posteriormente detectar la ausencia de anillos y la presencia de falsos anillos.

c) Fechado cruzado o cross-dating. Con el mismo instrumento se creó una serie de marcas en las muestras para estudiar el patrón del grosor de los anillos y, de este modo, usarlos como herramienta cronológica para la identificación de la fecha de formación de los anillos, en cada una de las muestras.

d) Medición de los anillos. Se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de Gómez Palacio, Durango, México (INIFAP, CENID-RASPA). Se midió el ancho total del anillo anual (madera temprana y tardía) utilizando un dendrómetro Velmex y el software Medir (Krusic *et al.,* 1996, citado por González, 2003).

e) Obtención de cronologías. Con la utilización de los programas de cómputo Cofecha (Holmes, 1996, citado por González, 2003) y Arstan (Cook, 1996, citado por González, 2003) se verificó el fechado y medición de los anillos de crecimiento de cada serie de datos obtenida y se construyeron las cronologías de cada uno de los sitios muestreados.

Las cronologías que se presentan para los tres sitios de estudio corresponden a la versión estándar que origina el programa Arstan, la cual tiene la propiedad de almacenar las variaciones de más baja frecuencia con buen análisis estadístico.

Comparación de los patrones de desarrollo

La comparación de los patrones de desarrollo de las tres cronologías individuales se obtuvo por medio del coeficiente de correlación de Pearson. Los coeficientes de correlación con significancia estadística merecieron interpretación.

Pruebas de normalidad en los datos de amplitud de los anillos de crecimiento

Se realizaron dos pruebas de ajuste de distribuciones probabilísticas: la de c^2 y de Kolmogorov-Smirnov (K-S). La primera se realiza sobre la distribución de frecuencias relativas (fdp) y la segunda sobre la distribución de frecuencias acumuladas (fda). Ambas pruebas estadísticas establecen la hipótesis nula de que los datos se distribuyen de acuerdo con la distribución de ajuste, en este caso, la distribución normal. Para aceptar o rechazar la hipótesis nula se consideró un error a= 0,05. Las series de datos utilizadas fueron: *a)* la serie maestra de valores medios asignados a cada año de

crecimiento por el programa Cofecha y *b)* los promedios de los índices de crecimiento anual estandarizados (cronologías propiamente dichas) que produce el programa Arstan. La serie maestra calculada por Cofecha es sólo el promedio de la amplitud de los anillos de las series individuales; e incluye los efectos de los cambios climáticos, factores ecológicos, como la posible competencia o mortalidad de individuos vecinos, y el efecto del cambio en el incremento con la edad de los diferentes individuos. En las cronologías obtenidas mediante Arstan, se elimina el efecto del cambio en el incremento radial por el efecto de la edad de los árboles y por lo tanto es un indicador del probable cambio climático.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cronologías de *Pseudotsuga menziesii* de los sitios: El Potosí, La Marta y La Encantada, de la Sierra Madre Oriental en N. L. Las cronologías desarrolladas comprenden periodos de edad que van desde los 144 años hasta 203 años. El periodo más corto de edad corresponde a la cronología del cerro ‘El Potosí’; la cronología de ‘La Marta’ es ligeramente más amplia (157 más) y el periodo de edad más largo (203 años) corresponde a la cronología de ‘La Encantada’.

Comparación del patrón de desarrollo de las cronologías de *Pseudotsuga menziesii* de los sitios El Potosí, La Marta y La Encantada. Las correlaciones internas de las tres series maestras son buenas (Tabla 1) con valores de 0,67 para La Encantada, de 0,83 para La Marta y de 0,79 para El Potosí. La menor correlación interna entre las series individuales de La Encantada se explica por la variación espacial en las que se colectaron las muestras de esta cronología, ya que, a diferencia de los sitios El Potosí y La Marta, en La Encantada se estudiaron árboles que crecen en diferentes exposiciones (norte, noroeste y sur) con diferentes condiciones de suelo y altitud.

La sensibilidad media notoria se observa mejor en El Potosí y en menor grado en La Encantada. Esto se explica parcialmente por: *a)* la frecuencia de incendios, *b)* tipo y profundidad del suelo, *c)* exposición y *d)* otros factores que contribuyen a que el crecimiento radial responda rápidamente a los cambios climáticos.

Tabla 1. Resumen comparativo de los resultados de Cofecha de las series de crecimiento de los tres sitios muestreados (‘El Potosí’, ‘La Marta’ y ‘La Encantada’).

Estadísticos	El Potosí	La Marta	La Encantada
Número de series fechadas	45	47	42
Serie maestra	1860-2003	1847-2003	1801-2003
Total de años	144	157	203
Total de anillos medidos	3 701	3 813	3 630
Anillos perdidos	1	16	44
Intercorrelación entre series	0,791	0,826	0,668
Sensibilidad media	0,512	0,412	0,306
Segmentos con posibles errores	0	1	0
Longitud media en años	82,2	81,1	86,4

El coeficiente de correlación entre las cronologías de los tres sitios (La Encantada, La Marta y El Potosí) indica que existe un mayor grado de asociación entre los sitios La Marta y El Potosí presentando una correlación media o aceptable con un valor de 0,623. Las correlaciones entre La Marta y La Encantada, así como entre El Potosí y La Encantada son relativamente bajas en ambos casos (Tabla 2). La baja correlación de la cronología de La Encantada con las dos restantes se explica, en parte, por la diferencia en ubicación de los sitios de muestreo, ya que el clima, que influye de manera decisiva sobre el crecimiento está determinado en la región en gran medida por la altitud, la latitud y la exposición.

La figura 2 muestra las tres cronologías estudiadas. Se observa que el ritmo de crecimiento de la cronología La Encantada contrasta con las cronologías La Marta y El Potosí durante los primeros 100 años (1860-1960). Esto es más notorio para el periodo de 1860 a 1880. Posterior a 1960 se observan ritmos de crecimiento similares en las tres cronologías.

Tabla 2. Coeficiente de correlación y su probabilidad entre las tres cronologías construidas (La Encantada, La Marta y El Potosí), de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México.

	La Encantada	La Marta	El Potosí
La Encantada	1,00		
La Marta	0,41	1,00	
	(<0,0001)		
El Potosí	0,44	0,62	1,00
	(<0,0001)	(<0,0001)	

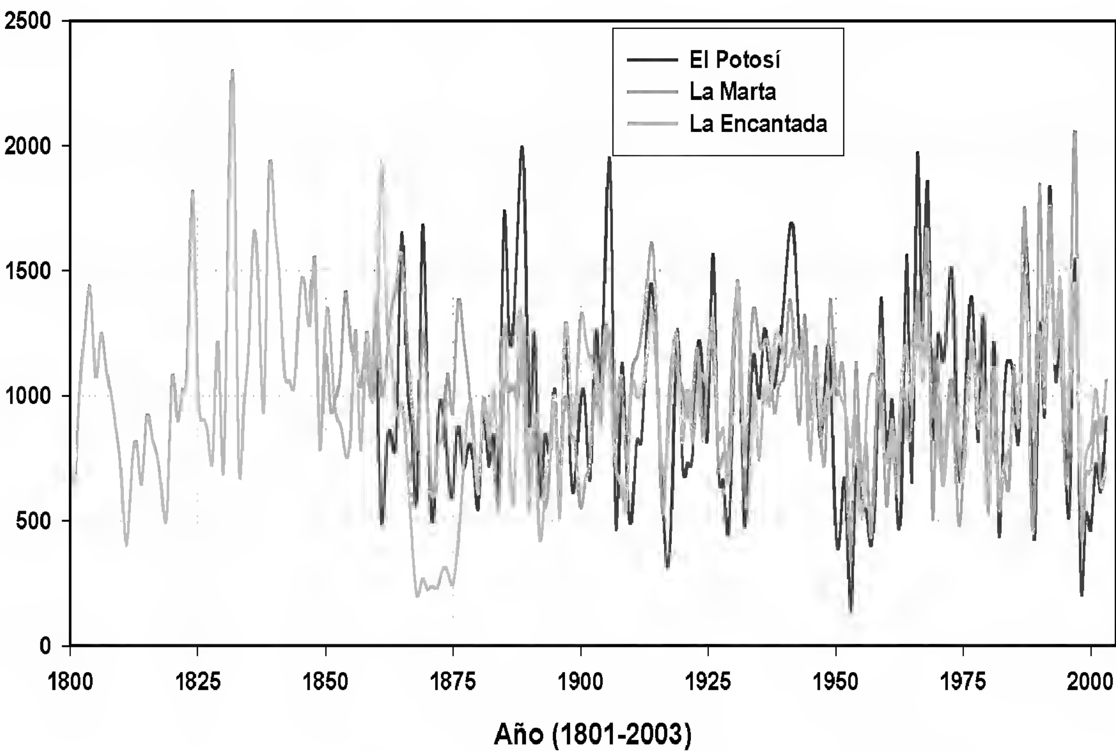


Figura 2. La amplitud del crecimiento radial de las cronologías El Potosí, La Marta y La Encantada.

La regionalización del clima parece ser una observación importante en varias partes del mundo. Para México, las investigaciones realizadas por Díaz-Castro *et al.* (2001) y González-Elizondo *et al.* (2005) muestran que el clima o factores asociados a éste, se encuentran relacionados con áreas espacialmente delimitadas. Es posible que la región sur de Nuevo León, donde se encuentra La Encantada, haya recibido los efectos de sequías severas durante el periodo de 1860 a 1880, lo que coincide con las sequías encontradas en los estudios reportados por Villanueva *et al.* (2000), Cleaveland *et al.* (2003), Pohl *et al.* (2003), González-Elizondo *et al.* (2005) y por Návar *et al.* (2008; 2008a). Posteriormente, los contrastes entre las cronologías pueden explicarse por la alternancia de los cambios en la región sur y centro de Nuevo León y por la exposición del sitio de muestreo.

De acuerdo con la prueba de normalidad de χ^2, los datos de ancho de los anillos de crecimiento del arbolado estudiado presentan una distribución normal sólo para la serie de El Potosí ($p \geq \chi^2 = 0,054$); no así para las series de La Marta ($p \geq \chi^2 = 0,00029$) y La Encantada ($p \geq \chi^2 = 0,0068$). En contraste, y de acuerdo con la prueba de ajuste de K-S, todas las series de la amplitud de los anillos presentaron una distribución normal (Tabla 3 y Figura 3).

El índice de amplitud de los anillos presentó una tendencia similar a la variable de amplitud de los anillos de crecimiento (Figura 4). Con la excepción de que ninguna de las series se distribuyó normalmente, de acuerdo con la prueba de χ^2 ($p \geq \chi^2 \leq 0,05$). La prueba de Kolmogorov-Smirnov continuó indicando que las series se distribuyen normalmente para el índice de la amplitud de los anillos de las tres cronologías de *Pseudotsuga* en Nuevo León, México (Figura 4 y Tabla 4).

Los coeficientes de asimetría y de curtosis indican que la amplitud de los anillos y el índice de amplitud de las cronologías presentan distribuciones sesgadas para los tres sitios de estudio. La cronología El Potosí presenta el mayor sesgo (0,50) en contraste con las cronologías de La Marta y La Encantada (Tablas 3 y 4). El coeficiente de curtosis no presenta tendencias importantes notorias porque difiere en signo.

Tabla 3. Las pruebas de normalidad de χ^2 y de Kolmogorov-Smirnov de la amplitud de los anillos de tres dendrocronologías de Nuevo León, México.

Estadísticos	El Potosí	La Marta	La Encantada
Promedio	972,26	985,98	973,08
Desviación estándar	383,26	314,50	320,97
Intervalo de confianza	61,33	50,33	43,41
Coeficiente de asimetría	0,50	0,12	0,34
Coeficiente de curtosis	-0,28	1,14	1,38
χ^2	12,36	27,35	21,12
$P \geq \chi^2$	0,054	0,0002	0,006
Desviación máxima	0,091	0,050	0,055
Desviación máxima KS	0,113	0,108	0,095

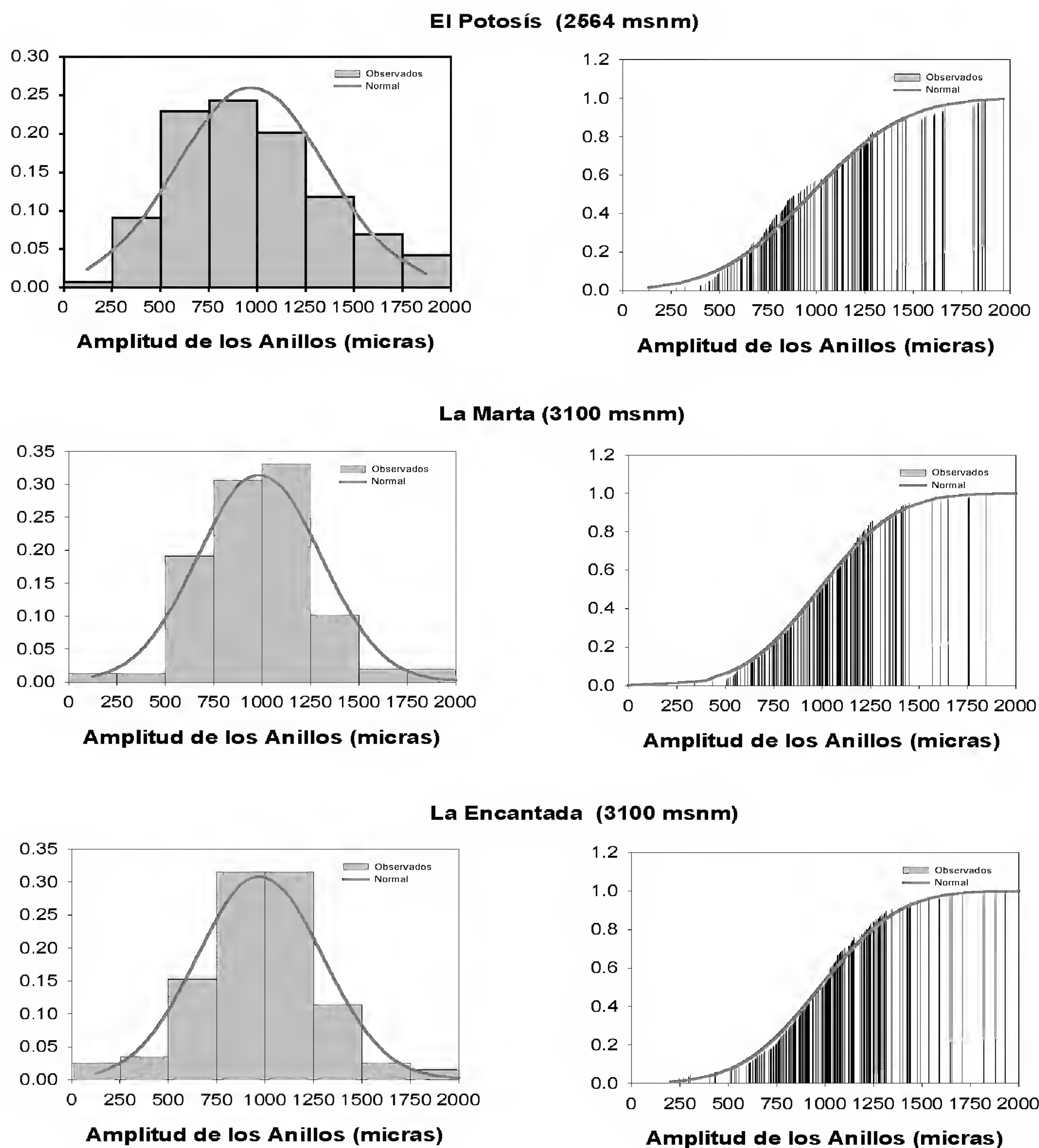


Figura 3. Las pruebas de normalidad de χ^2 y de Kolmogorov-Smirnov de la amplitud de los anillos de tres cronologías de anillos de crecimiento de *Pseudotsuga* en Nuevo León, México.

Sin embargo, el sesgo es consistentemente positivo indicando que existen en general pocos años con crecimiento radial por arriba del promedio, y muchos años con crecimiento radial por debajo del promedio.

La prueba de χ^2 es más rigurosa en la decisión que se toma sobre la aceptación o rechazo de la hipótesis de la similitud entre las distribuciones teórica y observada porque considera a toda la información presente. Por otra parte, la prueba de Kolmogorov-Smirnov basa su

decisión en sólo la desviación máxima entre las distribuciones teórica y observada de la información. Es decir considera exclusivamente un solo dato (Haan, 1996). Por esta razón, se concluye que las pruebas de normalidad son más confiables con la prueba de χ^2. Basado en esta observación, se concluye que 5 de 6 pruebas rechazan la hipótesis nula. El crecimiento y el índice de crecimiento radial se distribuyen no normalmente, con la mayoría de los datos hacia la izquierda, con crecimientos menores al promedio aritmético, mediana o moda (Figuras 3 y 4).

La temperatura de la Tierra está cambiando. En el presente es casi un grado Celsius más cálida la biosfera terrestre que en 1860 (IPCC, 2001).

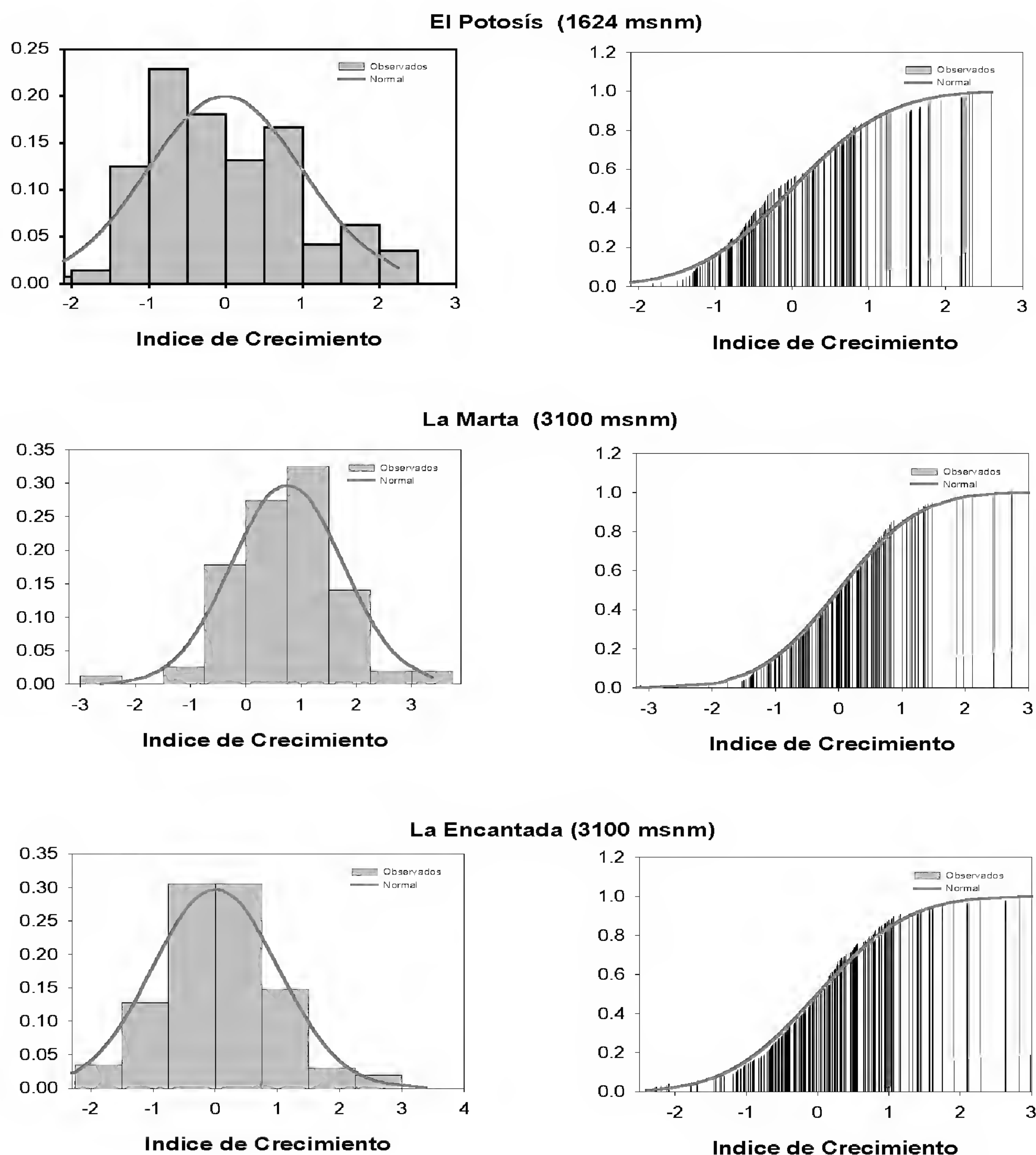


Figura 4. Las pruebas de normalidad de c2 y de Kolmogorov-Smirnov del índice de amplitud de los anillos de tres dendrocronologías de Nuevo León, México.

Tabla 4. Las pruebas de normalidad de χ^2 y de Kolmogorov-Smirnov del índice de amplitud de los anillos de tres dendrocronologías de Nuevo León, México.

Estadístico	El Potosí	La Marta	La Encantada
Promedio	-2,89E-09	5,46E-09	1,197E-08
Desviación estándar	0,99	0,99	1,00
Intervalo de confianza	0,16	0,15	0,13
Coeficiente de asimetría	0,50	0,12	0,33
Coeficiente de curtosis	-0,28	1,149	1,38
χ^2	44,55	84,12	184,55
$P \geq \chi^2$	1,671-07	1,97E-15	2,121E-36
Desviación máxima	0,091	0,050	0,055
Desviación máxima de KS	0,113	0,108	0,095

Además, los últimos años de la década de los 1990s y los primeros años del nuevo siglo han sido registrados como los más cálidos en los últimos 200 y tal vez en los últimos 400 000 años. Las poblaciones de pináceas estudiadas, características de climas boreales, están posiblemente presentando signos de inestabilidad y el crecimiento en diámetro y en altura se está modificando en respuesta a las tendencias al calentamiento global de la biosfera terrestre.

Existen evidencias que predicen que el cambio climático está modificando la superficie forestal del planeta (Hansen *et al.*, 2001; Shafer *et al.*, 2001; Bonan, 2008). Escenarios para México descritos por Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (1997) indican que gran parte de la superficie forestal de bosques fríos y cálidos desaparecerá en los próximos 100 años. Además, Gómez-Mendoza y Arriaga (2007) indican que los bosques mexicanos de pino y de encino se reducirían entre 0,2 y 64% y entre 7 y 48% de la superficie actual para el año 2050, de continuarse la tendencia del cambio climático presente. En específico, las proyecciones sobre la superficie forestal para los relictos de las poblaciones de *P. menziesii* no es nada halagador, ya que se presenta evidencia de que de continuar cambiando el clima, los modelos predicen que las poblaciones de esta especie desaparecerán prácticamente del norte de México durante este siglo (Shafer *et al.,* 2001).

Dale *et al.* (2001), señalaron que el cambio climático puede afectar la superficie forestal al alterar la frecuencia, intensidad, duración y el tiempo de los incendios, las sequías, las especies introducidas, las plagas y enfermedades, los huracanes, las tormentas y las avalanchas. Návar *et al.* (2005) presenta evidencia de la reducción de la productividad del orden de casi media tonelada por hectárea por año para poblaciones de pino por efecto de la sequía de los 1990s en el norte de México. Návar *et al.* (2008a), en otro estudio sobre las mismas poblaciones de *P. menziesii* notaron que los anillos de crecimiento se reducen de casi 1,2 mm a^{-1} en épocas húmedas a 0,80 mm a^{-1} en tiempos de sequías. Es decir, al menos en los últimos 200 años, la presencia de sequías y otros factores climáticos está posiblemente repercutiendo en el crecimiento radial de las poblaciones de *P. menziesii*.

De ser ciertas las proyecciones con respecto a las precipitaciones en el norte de México por el cambio climático (Mulholland *et al.*, 1997; IPCC, 2001) es posible que las sequías no sólo se agudizarían por el crecimiento demográfico y los disturbios a los ecosistemas, sino que también el clima estaría contribuyendo a que estos fenómenos climáticos se magnifiquen aún más, en detrimento del crecimiento radial y de la supervivencia de las poblaciones relicto de *P. menziesii*.

CONCLUSIONES

Se desarrollaron cronologías para *Pseudotsuga menziesii* de tres sitios (El Potosí, La Marta y La Encantada) de la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León, México. El patrón de desarrollo o ritmo de crecimiento presenta un contraste muy alto entre la cronología de La Encantada y las cronologías de El Potosí y La Marta, durante los años de 1860 a 1880, manteniéndose esta diferencia con menor intensidad hasta el año 1960. A partir de 1970 hasta el 2003 se establece una importante similitud entre las tres cronologías. A pesar de estas diferencias, las tres cronologías presentaron buenas relaciones intrínsecas y extrínsecas. Se presenta evidencia de que la amplitud de los anillos no se distribuye normalmente para las cronologías y estos tienden a sesgarse hacia menores ritmos de crecimiento radial, posiblemente como una consecuencia de cambio climático en la zona montañosa del estado de Nuevo León, México.

REFERENCIAS

Alanís F.G., G. Cano y M. Robalo. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánico-ecológica. CEMEX, México.

Alvarado, E., D.V. Sandberg y S.G. Pickford. 1998. Modeling large forest fires as extreme events. Northwest Sci, pp. 72-78.

Arreola-Ortiz, M.R. y J.J. Návar-Chaidéz. 2010. Análisis de sequías y productividad con cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Rob & Fern y su asociación con El Niño en el nordeste de México. En prensa en Investigaciones Geográficas.

Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: forcing, feedbacks and the climate benefits of forests. Science 320:1444-1449.

CETENAL. 1977. Carta topográfica. Sierra La Marta. G14 C45 Coahuila y Nuevo León, escala 1:50 000. México, D. F.

Cleaveland, M.K., D.W. Stahle, M.D. Therrel, J. Villanueva-Diaz y B.T. Burns. 2003. Tree-rings reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. Climatic Change 59:369-388.

Dale, V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterson, D. Simberlof, F.J. Swanson, B.J. Stocks y B.M. Wotton. 2001. Climate change and forests disturbances. Bioscience 51:723-734.

DETENAL. 1978. Carta topográfica. C. El Potosí. G14 C56, Nuevo León, escala 1:50 000. México.

DETENAL. 1978a. Carta topográfica. Zaragoza, N. L.-Tamaulipas. F14 A17, escala 1:50 000. México.

Díaz-Castro, S., R. Touchan y T.W. Swetnam. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja Cali-

fornia Sur, México. Int. J. Climatol. 21:1007-1009.

Díaz-Castro, S., C.L.Z. Brito, C.A. Salinas y A. Douglas. 2003. Dendrocronología, una herramienta para reconstruir escurrimientos superficiales en la vertiente continental del Golfo de California In: Resúmenes IV Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Nuevas Tecnologías para el Manejo Forestal. San Luis Potosí, S.L.P. México. 32 p.

Franco, P.J.G. 1990. Dinámica de la regeneración de *Pseudotsuga flahaulti* Flous, en el bosque de *Pseudotsuga-Pinus-Abies*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Fritts, H.C. 1976. Tree-rings and climate. Academic Press, London - New York - San Francisco.

Gómez-Mendoza, L. y L. Arriaga. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. Conservation Biology 21:1545-1555.

González-Elizondo, M. 2003. Indicadores de cambio climático en algunas especies de pináceas de la Sierra Madre Occidental, México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Forestales U.A.N.L. Linares, N. L., México. 193 p.

González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M.S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre y J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, México: a 1681-2001 rain reconstruction. Forest Ecology and Management 213:39-53.

Haan, C.T. 1996. Statistical methods in hydrology. Iowa State University Press. Iowa. USA. 378 p.

Hansen, A.J., R.P. Neilson, V.H. Dale, C.H. Flather, L.R. Iverson, D.J. Currie, S. Shafer, R. Cook y P.J. Bartlein. 2001. Global change in forests: response of species, communities and biomes. BioScience 51:765-779.

IPCC. 2001. Climate change 2001. The scientific basis. Third assessment report. WMO. UNEP. Roma. Italia.

Martínez, R. L.A. 1977. Conservación y mejoramiento de la variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el sur del estado de Nuevo León. Proyecto de investigación. Monterrey, N. L.

Mulholland, P.J., G.R. Best, C.C. Coutant, G.M. Hornberger, J.L. Meyer, P.J. Robinson, J.R. Stemberg, R.E. Turner, F. Vera-Herrera y R.G. Wetzel. 1997. Effects of climate change on freshwater ecosystems of United States and the Gulf of Mexico. Hydrological Processes 11:949-970.

Mûller-Using, B. 1994. Contribuciones al conocimiento de los bosques de encino y pino-encino en el noreste de México. Reporte científico. No. especial 14. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Linares, N. L., México. 194 p.

Návar, J. 1999. Agua y desarrollo sustentable en la cuenca baja de los ríos Bravo y San Juan. Ciencia. UANL 2(4):356-362.

Návar, J. 2001. Water supply and demand scenarios in the San Juan watershed. Geofísica Internacional 40:121-134.

Návar, J., M. González-Elizondo, S. González-Elizondo, M. Márquez-

Linares y E. Merlín-Bermúdez. 2005. Diversidad, estructura y productividad de ecosistemas forestales templados de Durango, México. Divulgación 4(6):35-37.

Návar, J. 2008. Reconstrucción de las sequías en los últimos 10 mil años en el norte de México. *Agrofaz* 8:41-53.

Pohl, K., M. Therrell, J. Santiago-Blay, N. Ayotte, S. Bernal-Salazar, J. Cabrera-Hernández, S. Díaz-Castro, A. Elvir, M. González-Elizondo, D. Opland, J. Park, G. Pederson, L. Vazquez-Salem y D.V. Sthale. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, México. Tree-Ring Res. 59(1):11-19.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.

Shafer, S.L., P.J. Bartlein y R.S. Thompson. 2001. Potential changes in the distributions of western North America tree and shrub taxa under future climate scenarios. Ecosystems 4:200-215.

Stahle, D.V., J. Villanueva, M.K. Cleaveland, M.D. Therrell, G.J. Paull, B.T. Burns, W. Salinas, H. Suzan y P. Fule. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. Dendrocronología en América Latina. F. A. Roinr (Comp.) EDIUNC, Mendoza, Argentina, pp. 285-305.

Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland y J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. Journal of Geophysical Research 107:14-24.

Villanueva, D.J. y G.R. McPherson. 1999. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México. Revista Ciencia Forestal en México 24(86):37-61.

Villanueva, D.J., P.J. Cerano y M.R. Moran. 2005. Cronologías de los anillos de los árboles de Durango: Fuente de información climática y ecológica para conservación de ecosistemas en la Sierra Madre Occidental. Rev. Divulgación Científica Tecnológica Humanística. Órgano de Divulgación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango 4(6):40-41.

Manuscrito recibido el 16 de junio de 2008
Aceptado el 11 de diciembre de 2009

Este documento se debe citar como: Arreola-Ortiz, M.R., M. González-Elizondo, J.J. Návar-Cháidez. 2010. Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México. *Madera y Bosques* 16(1):71-84.

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Anatomía de la madera de dos especies de *Eugenia* (Myrtaceae) de Quintana Roo, México

Wood anatomy of two species of *Eugenia* (Myrtaceae) from Quintana Roo, Mexico

Silvia Rebollar-Domínguez[1] y Nery Alicia Tapia-Torres[1]

RESUMEN

En México la familia *Myrtaceae* está representada por doce géneros que se distribuyen ampliamente en regiones templadas, tropicales y semiáridas. La importancia económica de esta familia se basa principalmente en la extracción de la madera (*Eucalyptus* spp.), el consumo de frutos (*Psidium* spp.) y la apicultura (*Eugenia spp.)*, entre otros usos. En Quintana Roo se han registrado varios géneros de la familia, entre los cuales *Eugenia,* con varias especies está bien representado en la selva mediana subperennifolia. La madera de este género tiene usos locales importantes como postes y pilares en la construcción de casas rurales, así como para durmientes y son también valiosas especies melíferas. La estructura de su madera ha sido poco estudiada, por lo que en este trabajo se describe la anatomía de *Eugenia capuli* (Schlecht. & Cham.) Berg. y *Eugenia mayana* Standley, especies colectadas en el ejido Cafetal Limones, Quintana Roo. Se realizó el estudio de sus características estéticas, anatómicas macroscópicas en tablillas de xiloteca y el microscópico en los tres cortes típicos y en material disociado; a los caracteres mensurables se les hizo un análisis estadístico y se determinaron con base en el valor de la media. Se incluyen en cada descripción los datos botánicos. La madera en ambas especies es de color castaño, con porosidad difusa, vasos con placa de perforación simple; el parénquima axial es en bandas y difuso; rayos heterogéneos tipos I, II, III y fibras libriformes. *E. mayana* se diferencia de *E. capuli* por presentar parénquima axial vasicéntrico, rayos triseriados y sus fibras presentan gomas.

PALABRAS CLAVE:
Eugenia capuli, Eugenia mayana, Quintana Roo, usos de la madera, Veracruz.

ABSTRACT

The *Myrtaceae* family in Mexico is represented by twelve genera widely distributed in temperate, tropical and semiarid regions. The family has economic importance due mainly to the extraction of wood (from *Eucalyptus* spp.), of fruit for human use (*Psidium* spp.) and to the practice of apiculture (in *Eugenia spp.)*, among other uses. Several genera representing the family have been recorded in Quintana Roo, among which *Eugenia,* with several species, is well represented in the tropical rainforest. Wood of this genus has important local uses: poles and pillars used in the construction of rural houses, it has also been used to build railroad (sleepers). Valuable melifer species have also been found. Its wood structure has been poorly studied; therefore this paper describes the anatomy of *Eugenia capuli* (Schlecht. & Cham.) Berg. and of *Eugenia mayana* Standley, wich were collected in the common land (ejido) Cafetal Limones, Quintana Roo. The anatomical descriptions, have produced esthetic, macroscopic and microscopic studies using the three typical cuts and dissociated material. A statistical analysis was done using the measurable characters which were determined based on the value of the mean. Botanical data was included in each description. In both species, the wood is light brown, with diffuse-porous and the vessels have simple perforation plates; the axial parenchyma comes in stripes and it is diffused; rays are heterogeneous type I, II, III and libriform fibres. *E. mayana* is different from *E. capuli* in that it has axial parenchyma vasicentric, triseriate rays and its fibres have gums.

1 Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Biología. Av. San Rafael Atlixco # 186. Col. Vicentina Iztapalapa D.F. C.P 09340. sired@xanum.uam.mx, aliciatt@gmail.com.

KEY WORDS:
Eugenia capuli, Eugenia mayana, Quintana Roo, end-uses, Veracruz.

INTRODUCCIÓN

En Quintana Roo el manejo de las selvas ha girado en torno a dos actividades principales, una es la agricultura de autoconsumo y otra el aprovechamiento de los recursos no maderables y maderables, este último es un importante recurso ecológico y económico, ya que las selvas ofrecen una diversidad de especies arbóreas no conocidas en su anatomía, consideradas corrientes o duras, que tienen usos locales importantes para construcción rural, aunque pueden ser consideradas como alternativas para otros usos (Merino 1992; Rebollar *et al.,* 1993; Rebollar y Quintanar, 1998; 2000).

La familia *Myrtaceae* es un ejemplo de lo dicho, en México esta familia tiene registrados 12 géneros y 124 especies (Monroy-Ortiz y Monroy, 2006), que están ampliamente distribuidos en regiones templadas, tropicales y semiáridas. Se reconoce que tienen gran importancia económica al encontrarse en ella plantas de interés y utilidad como maderables: *Calyptranthes pallens* Griseb., *Myrcianthes fragans* (Swartz) McVaugh, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., entre otras; por su fruto comestible: *Psidium sartorianum* (Berg.) Ndzu., *Eugenia biflora* (L.) DC.; para la obtención de especias, aceites esenciales y condimentos: *Pimenta dioica* (L.) Merr., *Sizygium aromaticum* L.; en producción de miel: *Eugenia jambos* L.; como medicinal: *Eucalyptus globulus* Labill, *Psidium guajava* L. y ornamental: *Sizygium jambos* (L.) Alston, *Psidium cattleianum* Sabine (Terán y Rasmussen 1994; Cabrera *et al.,* 2001; Arellano *et al.*, 2003; Yáñez, 2004; Anderson *et al.,* 2005; Monroy-Ortiz y Monroy, 2006).

Eugenia es un género que se distribuye en América, Asia, África y Australia (Record y Hess, 1949; Johnson y Briggs, 1984). En México, está representado por 80 especies, que se distribuyen ampliamente en las regiones tropicales y tienen importancia económica medicinal, maderable y comestible (Monroy-Ortiz y Monroy, 2006). De acuerdo con Arellano *et al.* (2003), en la península de Yucatán el género *Eugenia* tiene l6 especies, de las cuales 15 se consideran melíferas y cinco son utilizadas como combustible (leña).

Estudios relacionados con la anatomía de la madera de este género son los realizados por Barajas-Morales *et al.* (1997) y Ángeles (1981), en las especies: *E. acapulcensis* Steud. y *E. origanoides* Berg., respectivamente; ambas pertenecientes a una selva alta perennifolia de una región de Los Tuxtlas en Veracruz, México; otro es de la especie brasileña *E. involucrate* DC., descrita por Marchiori (1984). En este trabajo se presenta la anatomía de la madera de *E. capuli* y *E. mayana,* cuya madera se colectó en el ejido Cafetal Limones, Quintana Roo localidad con intensa actividad forestal, donde están bien representadas en la selva mediana subperennifolia y tienen importancia en la localidad por ser utilizadas para postes y pilares en la construcción de casas rurales y para la elaboración de durmientes de acuerdo con la dirección técnica forestal de la Organización de Ejidos Productores Forestales de la Zona Maya, S.C. (OEPFZM, S.C., 2000).

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es describir las características anatómicas de la madera de *Eugenia capuli* y *Eugenia mayana*, especies utilizadas en construcción rural.

ZONA DE ESTUDIO

El ejido Cafetal Limones se ubica entre los paralelos 19° 01´ y 19° 27´ de latitud norte y en los meridianos 88° 06´ y 88° 30´ de longitud oeste, en el municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo (Figura 1). Tiene una altitud de 25 msnm y una extensión ejidal de 20 681 hectáreas, con una población de 1 961 personas registradas en el II conteo de población (INEGI, 2005).

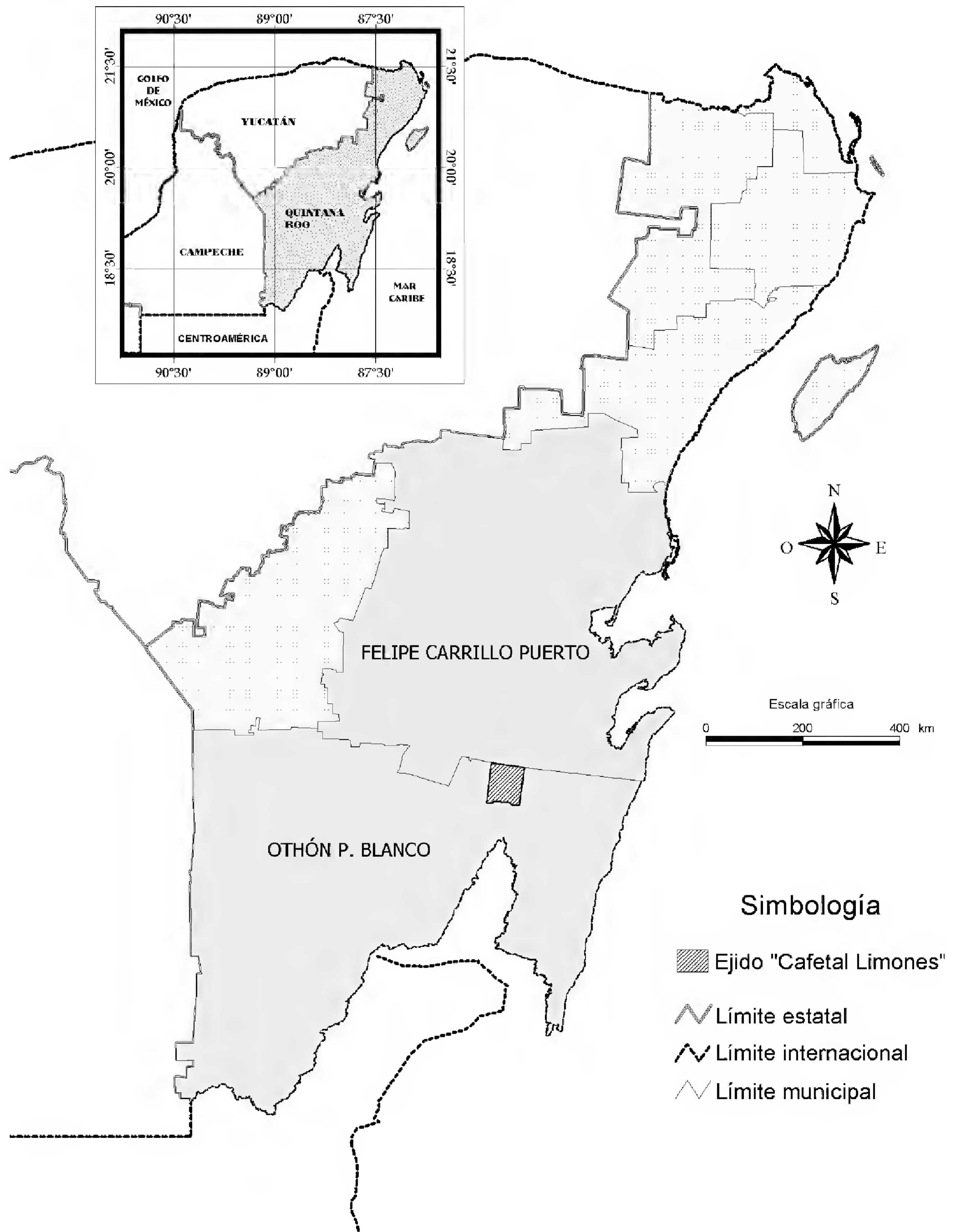


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Cafetal Limones perteneció a la Organización de Ejidos Productores Forestales de la Zona Maya, S.C. (OEPFZM, S.C.), con la cual su gente ha trabajado en diversos proyectos que le ha permitido tener asesoría técnica y capacitación en sus actividades productivas. La actividad económica más importante es la forestal, con la producción de maderas preciosas y otras tropicales duras y suaves; y otras alternas son la siembra de chiles jalapeños, maíz y frutales, algunos ejidatarios tienen ranchos donde se puede encontrar ganadería y agricultura de temporal, así como la producción y comercialización de miel de abeja a granel (OEPFZM, S.C., 2000).

METODOLOGÍA

La madera de *E. capuli* y *E. mayana*, provino de árboles sanos, maduros, de fustes rectos y uno por especie, con alturas de 12 m y diámetros normales de 20 cm y 25 cm, respectivamente. La colecta se hizo en una selva mediana subperennifolia perteneciente al ejido Cafetal Limones en el municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, de acuerdo a las especificaciones de Ramos y Díaz (1981).

La selección de las trozas y muestreo para obtener el material para los estudios de sus características estéticas, macroscópicas se realizó en tablillas de xiloteca de 15x7x1 cm y las microscópicas en probetas de 2x2 cm ablandadas siguiendo las técnicas apropiadas para maderas duras, para la elaboración de preparaciones fijas con los tres cortes típicos de la madera usando un micrótomo de deslizamiento. Los cortes se tiñeron en safranina acuosa a 1%, se deshidrataron y se montaron con resina sintética y, de acuerdo al método de Jeffrey se obtuvo el material disociado (Rebollar *et al.,* 1987; 1993). La denominación de los caracteres macroscópicos y estéticos se clasificó de acuerdo con Tortorelli (1956) y el color se definió con las tablas de Munsell (1954).

La nomenclatura de los caracteres microscópicos se presenta de acuerdo con IAWA Committee (1989) y para los rayos se uso la clasificación de Kribs (1968); a los caracteres mensurables se les hizo un análisis estadístico con un error de muestreo de 5%, donde se considera el valor de la media para su clasificación de acuerdo con Chattaway (1932) y con IAWA Committee (1937; 1939). El valor para poros se da en número por milímetro cuadrado (mm^2); el número de rayos por milímetro lineal (mm) y las dimensiones de los demás elementos constitutivos en micrómetros (µm).

Se presenta la descripción botánica y la sinonimia de las dos especies de acuerdo con Cabrera *et al.* (2001) y McVaugh (1963); la información de los nombres comunes y usos locales se obtuvieron por comunicación directa con los campesinos mayas de la localidad de colecta, cotejándola y ampliándola de acuerdo con Barrera *et al.* (1976), Sosa *et al.* (1985), Terán y Rasmussen (1994), Arellano *et al.* (2003) y Anderson *et al.* (2005). La distribución en México se consultó en: Johnson y Briggs 1984; Ibarra-Manríquez *et al.,* 1995; Valiente-Banuet *et al.,* 1995; Gutiérrez, 2000; 2004; Martínez *et al.,* 2001; Cartujano *et al.,* 2002; Arellano *et al.,* 2003; Castillo *et al.,* 2003; Yáñez, 2004; Monroy-Ortiz y Monroy, 2006 y Padilla-Velarde *et al.,* 2006. El trabajo se ilustra con el mapa de la zona de estudio, fotografías de la estructura anatómica y los resultados de las descripciones microscópicas se presentan en tablas.

RESULTADOS

***Eugenia capuli* (Schlecht. & Cham.) Berg**

Sinonimia: *Myrtus capuli* Schlecht. & Cham., *Eugenia schiedeana* Schlecht. *E. capuli μ micrantha* Berg., *E. capuli b macroterantha* Berg., *E. capuli g rigida* Berg., *E. contrerasii* Lundell, Wrightia, *E. tenuisima* Lundell, Wrightia.

Familia: Myrtaceae.

Nombres comunes en la Península de Yucatán: Pichiche´, guayabillo.

Distribución en México: Colima, Chiapas, Querétaro, Península de Yucatán, Tamaulipas y Veracruz.

Descripción botánica: Árbol de 6 a 12 m de altura, conserva su follaje durante la temporada seca del año, el tallo de 20 cm de diámetro, ramificado desde su base, la corteza amarillenta, escamosa. Las hojas son opuestas, simples, con el ápice acuminado y el margen entero, glabras y con numerosas glándulas translúcidas; en las hojas de más edad suele ser evidente un punto oscuro en la cara abaxial. La inflorescencia es de racimos cortos dispuestos en las ramas maduras, los pétalos blancos, ovario bilocular y óvulos de 8 a 10 en cada lóculo. Los frutos son drupas esféricas, de 5 mm de diámetro, coronados por el cáliz persistente y amarillo brillante al madurar.

Características anatómicas de la madera:

Estéticas
La madera presenta diferencia entre la albura y el duramen, la albura es castaño claro (10YR 6/4) y el duramen grisáceo (10YR 4/3). Tiene olor y sabor aceitoso, veteado suave, brillo mediano, textura fina e hilo recto.

Macroscópicas
Los elementos constitutivos son visibles con lupa (6x); las zonas de crecimiento están marcadas por fibras y poros solitarios.

Microscópicas
Los poros son de distribución difusa, la mayoría solitarios y múltiples radiales de 2 a 5, de contorno oval y redondo, son muy numerosos ($\bar{x}$= 60), de diámetro tangencial moderadamente pequeño ($\bar{x}$= 66 μm) (Figuras 2a y 2b).

Los elementos de vaso son medianos ($\bar{x}$= 498 μm), presentan puntuaciones areoladas alternas y placa de perforación simple, con presencia de colas y gomas. El parénquima axial es en bandas de 2 a 4 hileras de células y difuso escaso, presenta cristales romboidales y gomas. Se encuentran idioblastos con cristales romboidales. Los rayos son uniseriados y biseriados, pocos ($\bar{x}$= 4), heterogéneos tipo II y III, el tipo II tiene células procumbentes de 4 a 12 hileras con márgenes de células erectas de 1 a 3 hileras y el tipo III tiene un cuerpo de procumbentes de 2 a 11 hileras y margen de células cuadradas, son extremadamente bajos ($\bar{x}$= 238 μm) y muy finos ($\bar{x}$= 21 μm) con gomas. Los más abundantes son los biseriados. Las fibras son de tipo libriforme de longitud mediana ($\bar{x}$= 1 095 μm), diámetro mediano ($\bar{x}$= 20 μm) y con paredes gruesas ($\bar{x}$= 10 μm) (Figuras 2c y 2d, Tabla 1).

Usos locales

La madera es dura por lo que es usada para la construcción rural.

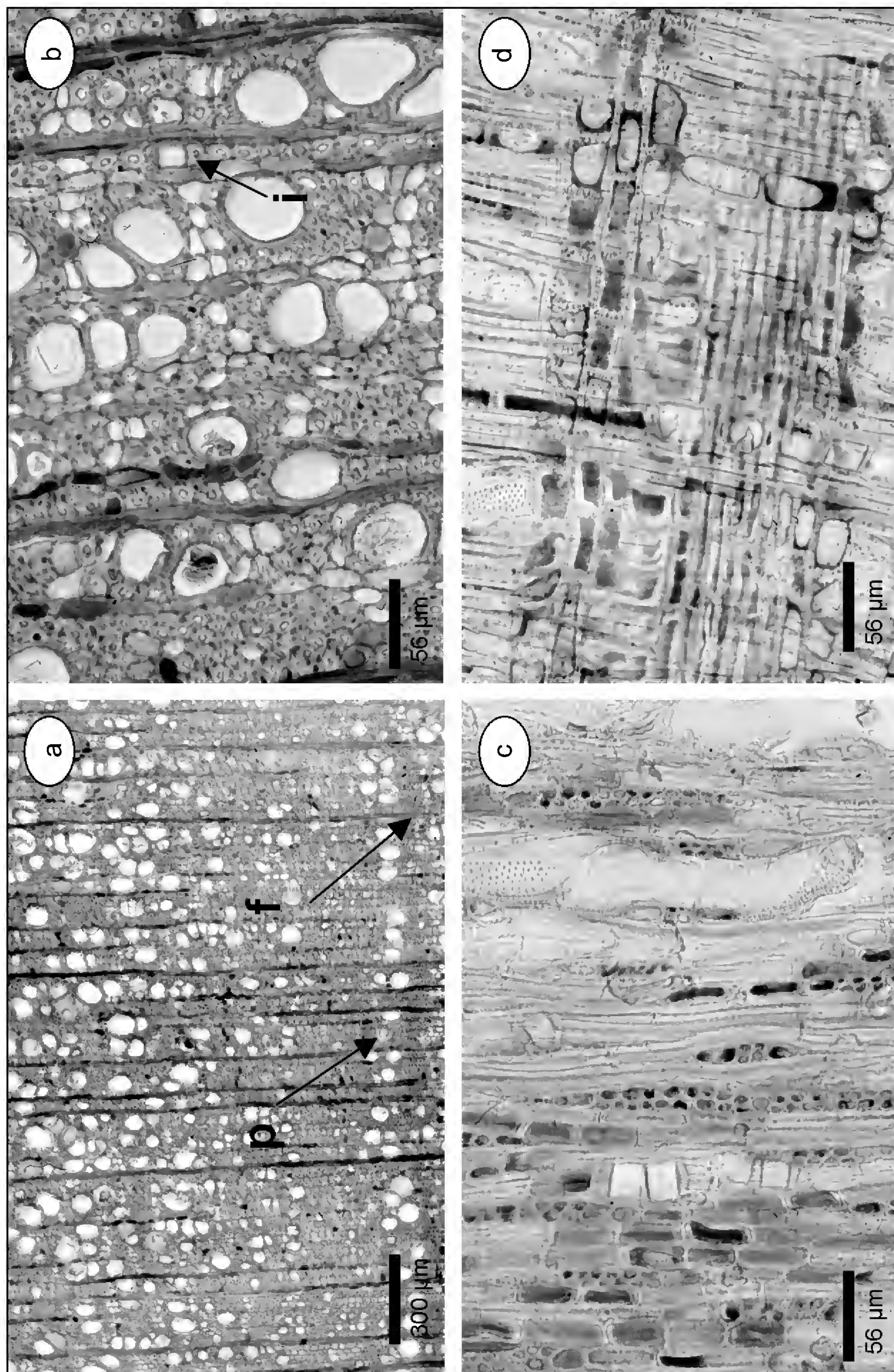


Figura 2. *E. capuli*. a. y b. corte transversal (5x y 20x), c. corte tangencial (20x) y d. corte radial (20x). f. fibras, i. idioblasto y p. poros solitarios.

Tabla 1. Características anatómicas microscópicas de *Eugenia capuli* (Schlecht. & Cham.) Berg. (Mode.= Moderadamente, Extre.= Extremadamente)

VASOS						
POROS		ELEMENTOS DE VASO				
Porosidad	Agrupación	N° por mm^2	Diámetro tangencial µm	Longitud µm	Puntuaciones	Placa de perforación
Difusa	Mayoría solitarios y múltiples radiales de 2 a 5 células	Muy numerosos Mín 47 Máx 74 Mo 58 X 60	Mode. pequeños Mín 40 Máx 100 Mo 70 X 66	Mediana Mín 300 Máx 700 Mo 520 X 498	Areoladas alternas	Simple

PARÉNQUIMA						
AXIAL	RADIAL					
Tipo	N° por mm	N° de series	Uniseriados		Biseriados	
			Longitud µm	Ancho µm	Longitud µm	Ancho µm
Paratraqueal en bandas de 2 a 4 hileras y difuso escaso	Pocos Mín 3 Máx 6 Mo 4 X 4	Mín 2 Máx 11 Mo 10 X 9	Extre. bajos Mín Máx Mo X	Muy finos Mín Máx Mo X	Extre. bajos Mín 150 Máx 350 Mo 200 X 238	Muy finos Mín 20 Máx 30 Mo 20 X 21

FIBRAS			
Tipo	Longitud µm	Diámetro µm	Grosor µm
Libriformes	Mediana Mín 830 Máx 1 300 Mo 1 000 X 1 095	Mediano Mín 18 Máx 20 Mo 20 X 20	Gruesa Mín 8 Máx 10 Mo 10 X 10

CONTENIDOS		
Vasos	Parénquima axial y radial	Fibras
Gomas	Gomas y cristales romboidales (axial)	Ausentes

***Eugenia mayana* Standley**

Sinonimia: *E. buxifolia* (Sw.) Willd., *Myrtus buxifolia* Sw., *E. mayana* Standl.

Familia: Myrtaceae.

Nombres comunes en la Península de Yucatán: Sakloob, xhil nich´, xjirnich, jirimich, guayabillo.

Distribución en México: Chiapas y Península de Yucatán.

Descripción botánica: Árbol de 6 a 12 m de altura, conserva su follaje durante la temporada seca del año, el tallo de 25 cm de diámetro. Las hojas son ovadas o elípticas, ápice acuminado y el margen entero, glabras y glándulas translúcidas.

La inflorescencia en racimos cortos dispuestos en las ramas maduras, los pétalos glabros, ovario bilocular y óvulos de 5 a 6 en cada lóculo; la flor terminal generalmente es abortada. Los frutos son drupas esféricas, de 5 mm de diámetro, color negro.

Características anatómicas de la madera:

Estéticas
La madera presenta diferencia de color entre la albura y el duramen, la albura es castaño grisáceo (7.5 YR 6/4), el duramen es castaño oscuro (7.5 YR 5/4), con vetas oscuras (7.5 YR 3/0). Tiene olor y sabor aceitoso, veteado suave, brillo mediano, textura fina e hilo recto.

Macroscópicas
Los elementos constitutivos son visibles con lupa (6x); las zonas de crecimiento están marcadas por las fibras.

Microscópicas
Los poros son de distribución difusa, la mayoría solitarios, múltiples radiales de 2 a 4, de contorno oval y redondo, muy numerosos ($\bar{x}$= 55), de diámetro tangencial moderadamente pequeño ($\bar{x}$= 65 μm) (Figuras 3a y 3b).

Los elementos de vaso son medianos ($\bar{x}$= 571 μm), presentan puntuaciones areoladas alternas y placa de perforación simple. El parénquima axial es en bandas de 2 a 4 hileras, vasicéntrico y difuso con gomas y cristales romboidales. Los rayos son uniseriados, biseriados y triseriados, pocos ($\bar{x}$= 3), homogéneos escasos, heterogéneos tipo I y III, el tipo I tiene células procumbentes de 4 a 9 hileras con erectas de 1 a 3 en los márgenes y el tipo III tiene células procumbentes de 4 a 10 hileras y un margen de células cuadradas, son extremadamente bajos ($\bar{x}$= 200 μm) y muy finos ($\bar{x}$= 20 μm), con gomas. Los más abundantes son los biseriados. Las fibras son de tipo libriforme, de longitud mediana ($\bar{x}$= 1 327 μm) y diámetro mediano ($\bar{x}$= 20 μm) con paredes gruesas ($\bar{x}$= 5 μm), con gomas (Figura 3 y Tabla 2).

Usos locales

La madera es considerada dura por lo que es usada para construcción rural.

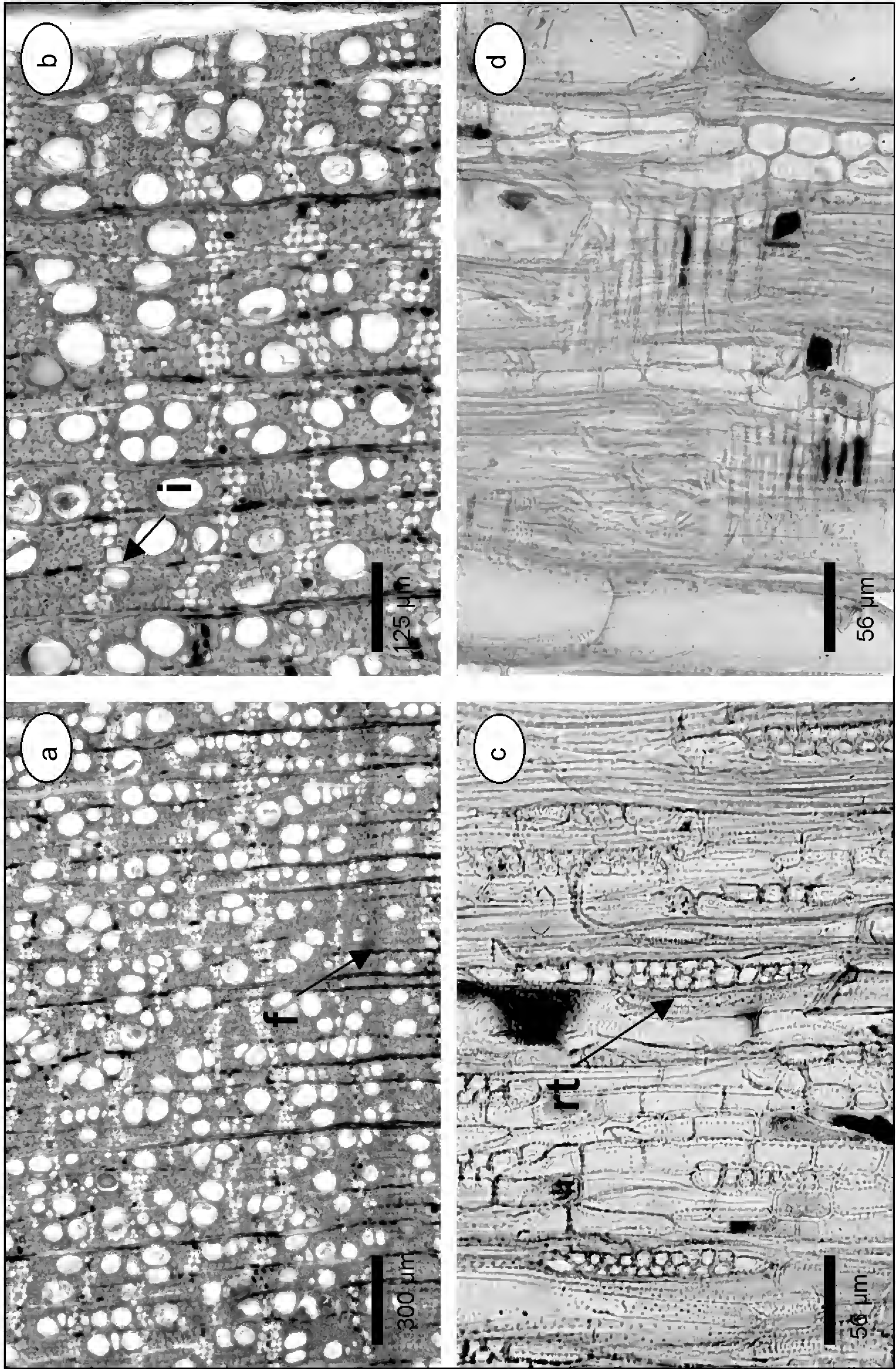


Figura 3. *E. mayana*. a. y b. corte transversal (5x y 10x), c. corte tangencial (20x) y d. corte radial (20x). f. fibras, i. idioblasto y rt. rayo triseriado.

Tabla 2. Características anatómicas microscópicas de *Eugenia mayana* Standley. (Mode.= Moderadamente, Extre.= Extremadamente)

VASOS						
POROS		**ELEMENTOS DE VASO**				
Porosidad	**Agrupación**	**N° por mm²**	**Diámetro tangencial µm**	**Longitud µm**	**Puntuaciones**	**Placa de perforación**
Difusa	Mayoría solitarios y múltiples radiales de 2 a 4 células	Muy numerosos	Mode. pequeños	Mediana	Areoladas alternas	Simple
		Mín 45 Máx 70 Mo 54 X 55	Mín 20 Máx 110 Mo 40 X 65	Mín 300 Máx 750 Mo 500 X 571		

PARÉNQUIMA								
AXIAL	**RADIAL**							
Tipo	**N° por mm**	**N° de series**	**Uniseriados**		**Biseriados**		**Triseriados**	
			Longitud µm	**Ancho µm**	**Longitud µm**	**Ancho µm**	**Longitud µm**	**Ancho µm**
Paratraqueal en bandas de 2 a 4 hileras y difuso escaso	Pocos	Mín 4 Máx 10 Mo 9 X 8	Extre. bajos	Muy finos	Extre. bajos	Muy finos	Extre. bajos	Muy finos
	Mín 2 Máx 6 Mo 3 X 3		Mín 150 Máx 350 Mo 200 X 238	Mín 20 Máx 30 Mo 20 X 21	Mín 100 Máx 360 Mo 200 X 200	Mín 10 Máx 30 Mo 20 X 20	Mín 110 Máx 350 Mo 200 X 228	Mín 20 Máx 30 Mo 20 X 21

FIBRAS			
Tipo	**Longitud µm**	**Diámetro µm**	**Grosor µm**
Libriformes	Mediana	Mediano	Gruesa
	Mín 1 000 Máx 1 760 Mo 1 320 X 1 327	Mín 20 Máx 30 Mo 20 X 20	Mín 5 Máx 10 Mo 5 X 5

CONTENIDOS		
Vasos	**Parénquima axial y radial**	**Fibras**
Gomas	Gomas (radial) y cristales romboidales (axial)	Gomas

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La madera de las dos especies estudiadas presenta diferencia de color entre la albura y el duramen, para *E. capuli* es de tonalidades de castaño claro y grisáceo, *E. mayana* las tiene de color castaño grisáceo y castaño oscuro respectivamente, para la última especie se marcan vetas oscuras; la diferencia en color entre la albura y el duramen de ambas especies le proporciona a la madera un valor estético, por lo que se pueden usar en decoración. Comparten también olor y sabor aceitoso, brillo mediano, veteado suave, hilo recto y textura fina. Las zonas de crecimiento están claramente marcadas por las fibras y en el caso de *E. capuli* además por la presencia de poros solitarios (Figura 2a).

En la estructura microscópica las dos especies tienen porosidad difusa, la mayoría de los poros son solitarios de contorno oval o circular y algunos múltiples radiales, muy numerosos, de diámetro moderadamente pequeño, longitud mediana con puntuaciones areoladas alternas y placa de perforación simple.

El parénquima axial es en bandas de 2 a 4 hileras de células y difuso, para las dos especies y *E. mayana* presenta también de tipo vasicéntrico. Los rayos de las dos especies, son pocos, moderadamente bajos y muy finos, siendo más abundantes los biseriados. *E. capuli* presenta rayos de tipo heterogéneos II y III, mientras que *E. mayana* tiene homogéneos escasos; heterogéneos de tipo I y III y presenta rayos triseriados (Figura 3c).

Las fibras son de tipo libriforme, de longitud y diámetro mediano y paredes gruesas. En el caso de *E. mayana* presentan gomas. Las características anatómicas de las dos especies de Quintana Roo aquí presentadas en comparación con *E. origanoides* y *E. involucrate* del estado de Veracruz, las cuales presentan datos similares es que en las últimas dos no se reportan olor ni sabor, el hilo es ligeramente entrecruzado y las zonas de crecimiento son inconspicuas. Los poros se encuentran por mm^2 en menor número ($\bar{x}$= 13) que las de Quintana Roo ($\bar{x}$= 55 y $\bar{x}$= 60), y el diámetro de los vasos es mediano mientras que para *E. capuli y E. mayana* es moderadamente pequeño; el parénquima axial en las cuatro especies se presenta en bandas, *E. capuli* presenta además vasicéntrico y difuso y *E. mayana* difuso escaso. En las especies de Veracruz los rayos son moderadamente numerosos ($\bar{x}$= 7) y en las estudiadas son pocos ($\bar{x}$= 3 y 4); las fibras en las cuatro especies son libriformes con paredes gruesas y puntuaciones simples, *E. mayana* presenta gomas (Figura 4).

La presencia de poros pequeños, fibras con paredes gruesas y contenidos (gomas y cristales romboidales) refleja una estructura compacta, cualidades que permiten entender el uso de estas dos especies para la elaboración de durmientes y, en el caso de postes y pilares para construcción rural estas maderas utilizadas sin ningún tratamiento químico, podrían reflejar una resistencia natural al biodeterioro.

Por otra parte, según los datos del inventario forestal del ejido Cafetal Limones estas especies tienen buena presencia en la selva mediana subperennifolia (OEPFZM S.C., 2000), que en conjunto con otras especies mal llamadas corrientes y duras ya reportadas (Rebollar y Quintanar, 1998; 2000) cuya madera presenta similares cualidades anatómicas, estéticas y por las cualidades que los campesinos mayas les han conferido de resistencia y dureza para ser usadas en construcción rural pueden considerarse como especies alternativas para diversos usos comerciales.

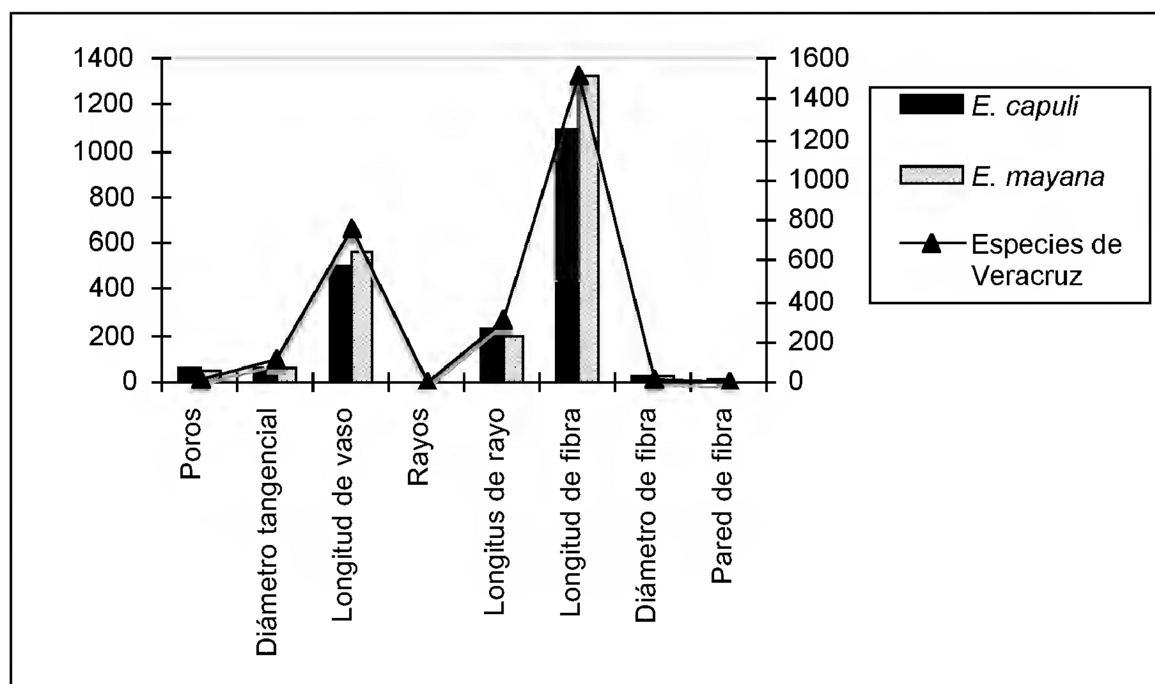


Figura 4. Comparación de los caracteres anatómicos cuantitativos ($\bar{x}$) entre las especies de Veracruz y las de Quintana Roo.

Es importante considerar este tipo de estudios que permiten implementar el conocimiento de la variedad de especies que manejan los ejidatarios como recurso de subsistencia que, en el caso de la actividad de producción de durmientes, les sigue generando un recurso económico confiable, ya que se continúa solicitando la compra del durmiente por algunas empresas privadas (OEPFZM S.C., 2000). Un factor importante que favorece este tipo de trabajos es la actitud abierta y positiva de los productores forestales de esta localidad quienes están interesados en mejorar sus prácticas agroforestales que eviten en lo posible el deterioro de sus selvas, ya que normalmente con sus programas de manejo forestal tienen una buena planeación para la producción tanto de madera como de otros recursos (frutales, hortalizas, agricultura de temporal).

RECONOCIMIENTOS

Las autoras agradecen el apoyo de los pobladores del ejido Cafetal Limones, en particular al comisario ejidal Carlos Torres, las facilidades brindadas en el trabajo de campo por compartir sus conocimientos de usos locales y nombres comunes de las especies colectadas y al señor Dionisio Yam Moo, su ayuda en la colecta de las especies. Al doctor Rafael Durán y a la doctora Ingrid Olmested (qepd), por la identificación de las muestras de herbario. A la doctora Carmen de la Paz Pérez-Olvera por la revisión y valiosas sugerencias al manuscrito, al biólogo Miguel Bravo Rivera, por su apoyo en la elaboración del mapa y a Ariadna Nicté Ramírez Ayala por la toma de fotografías.

REFERENCIAS

Anderson, E., J. Cauch, A. Dzih, S. Flores, G. Islebe, F. Medina, O. Sánchez y P. Valdez. 2005. Las plantas de los mayas: Etnobotánica en Quintana Roo, México. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad y Colegio de la Frontera Sur. 206 p.

Ángeles, P. 1981. Anatomía de la madera de veintiún especies de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 106 p.

Arellano, J., S. Flores, J. Tun y M. Cruz. 2003. Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense. Fascículo 20. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAY. 815 p.

Barajas-Morales, J., G. Ángeles y P. Solís. 1997. Anatomía de maderas de México: especies de una selva alta perennifolia I. Publicaciones especiales 16. Instituto de Biología, UNAM. 126 p.

Barrera, A., A. Barrera y R. López. 1976. Nomenclatura etnobotánica maya. Una interpretación taxonómica. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Secretaría de Educación Pública. México. 238 p.

Cabrera, E., S. Torres y A. Curtis. 2001. Catálogo de árboles del jardín botánico “Dr. Alfredo Barrera Marín”. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Ecosur. 111 p. (Manuscrito)

Cartujano, S., S. Zamudio, O. Alcántara e I. Luna. 2002. El bosque mesófilo de montaña en el municipio de Landa Matamoros, Querétaro, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 70:13-43.

Castillo, G., R. Robles y M. Medina. 2003. Flora y vegetación de la Sierra Cruz Tetela, Veracruz, México. Polibotánica 15:41-87.

Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical value used in describing woods. Tropical Woods 29:20-28.

Gutiérrez, C. 2000. Listado florístico actualizado del estado de Campeche, México. Centro de Investigaciones Históricas y Sociales. Universidad Autónoma de Campeche. 95 p.

Gutiérrez, C. 2004. Listado florístico del norte de Chiapas: Catazajá y límites con Palenque, México. Polibotánica 17:107-124.

IAWA Committee. 1937. Standard terms of length of vessel members and wood fibers. Tropical Woods 51. 21 p.

IAWA Committee. 1939. Standard terms of size for vessel diameter and ray width. Tropical Woods 59:51-52.

IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin 10:219-332.

Ibarra-Manríquez, G., J.L.R. Villaseñor y R. Durán García. 1995. Riqueza y endemismo del componente arbóreo de la Península de Yucatán, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 57:49-77.

INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2005. II Conteo de población y vivienda. Quintana Roo. http://www.inegi.gob.mx/est/ contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/iter2005/selentcampo.aspx (21/mayo/2008).

Johnson, L.A.S. y B.G. Briggs. 1984. Myrtales and *Myrtaceae* a phylogenetic analysis. Annals of the Missouri Botanical Garden 71:700-756.

Kribs, D. 1968. Commercial foreign woods on the american market. Dover, Nueva York. 241 p.

Marchiori, J.N.C. 1984. Anatomia da madeira de *Eugenia involucrate* DC. (*Myrtaceae*). Ciencia e Natura, Santa Maria 6:127-136.

Martínez, E., M. Sousa y C. Ramos. 2001. Listado florístico de México. XXII Región de Calakmul, Campeche. México. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 55 p.

McVaugh, R. 1963. Flora of Guatemala. *Myrtaceae*. Fieldiana: Botany. Chicago

Natural History Museum Press 24:309-373.

Merino, L. 1992. La experiencia en la organización forestal de la zona maya. México. El Cotidiano 48:41-43.

Monroy-Ortiz, C. y R. Monroy. 2006. Las plantas, compañeras de siempre: la experiencia en Morelos. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México. 582 p.

Munsell Color Company. 1954. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17 p.

OEPFZM, S.C. (Organización de Ejidos Productores Forestales de la Zona Maya, S.C.) 2000. Dirección Técnica Forestal. Informe de paso de año 2000 del ejido Cafetal Limones. Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo. México.

Padilla-Velarde, E., R. Cuevas-Guzmán, G. Ibarra-Manríquez y S. Moreno-Gómez. 2006. Riqueza y biogeografía de la flora arbórea del estado de Colima, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 77:271-295.

Ramos, C. y V. Díaz. 1981. Instrucciones para colectar muestras de madera para estudios tecnológicos. Boletín divulgativo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. No. 54. 15p.

Rebollar, S., C. de la Paz Pérez-O. y A. Quintanar. 1987. Maderas de la Península de Yucatán. México. Biótica 12:159-179.

Rebollar, S., C. de la Paz Pérez-O. y A. Quintanar. 1993. Anatomía de la madera de cinco especies de Quintana Roo, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 53:103-124.

Rebollar, S. y A. Quintanar. 1998. Anatomía y usos de la madera de ocho especies tropicales de Quintana Roo, México. Revista de Biología Tropical 46(4):1047-1057.

Rebollar, S. y A. Quintanar. 2000. Anatomía y usos de la madera de siete árboles tropicales de México. Revista de Biología Tropical 48(2/3):596-578.

Record, S. y R. Hess. 1949. Timbers of the new world. New Haven Yale University Press, London. 639 p.

Sosa, V., S. Flores, V. Rico-Gray, R. Lira y J. Ortiz. 1985. Lista florística y sinonimia maya. Etnoflora Yucatanense. Fascículo I. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. 225 p.

Terán, S. y Ch. Rasmussen. 1994. La milpa de los mayas. La agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el noreste de Yucatán. Gobierno del estado de Yucatán y gobierno de Dinamarca. Mérida, Yucatán. México. 349 p.

Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME, Buenos Aires. 910 p.

Valiente-Banuet, A., F. González y D. Piñero. 1995. La vegetación selvática de la región de Gómez Farías, Tamaulipas, México. Acta Botánica de México 3:1-36.

Yáñez, L. 2004. Las principales familias de árboles en México. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Estado de México. 189 p.

Manuscrito recibido el 12 de agosto de 2008
Aceptado el 11 de diciembre de 2009

Este documento se debe citar como: Rebollar-Domínguez, S. y N.A. Tapia-Torres.2010. Anatomía de la madera de dos especies de *Eugenia* (Myrtaceae) de Quintana Roo, México. *Madera y Bosques* 16(1):85-98.

NOTA TÉCNICA

Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales

Interpretation of vector analysis nomograms for nutrient diagnosis of forest tree species

Miguel Ángel López-López[1] y Jorge Alvarado-López[2]

RESUMEN

La interpretación de los nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales de crecimiento preformado suele ser una tarea complicada que, en algunos casos, puede conducir a conclusiones vagas o insatisfactorias. Este documento incluye una guía para facilitar la interpretación de éstos. Comparada con los modelos tabulares existentes para interpretar los nomogramas, la presente guía incluye una mayor cantidad de posibles vectores, proporciona más posibilidades de interpretación para cada vector y las discrimina, de acuerdo con el manejo del nutrimento bajo análisis. Además, si es el caso, se especifica el estado del nutrimento, antes y despúes de aplicarlo.

PALABRAS CLAVE:
Concentración nutrimental, diagnóstico nutrimental, dilución nutrimental, nomogramas, nutrición forestal.

ABSTRACT

The interpretation of the nomograms from the vector analysis technique for nutrient status diagnosis of preformed growth forest tree species frequently is a difficult task that may lead in some cases to vague or even unsatisfactory conclusions. The present document contains a guide to help nutrient diagnosticians to interpret such nomograms. As compared with the existing tabular models for nomogram interpretation, this guide includes a higher amount of possible vectors, it provides a wider spectrum of interpretation possibilities for each of the vectors, and discriminates the interpretation of the nomograms according to the level of manipulation of the nutrient being analyzed. Furthermore, if it applies, the status of the nutrient before and after the application of treatments is defined.

KEY WORDS:
Nutrient concentration, nutrient diagnosis, nutrient dilution, nomograms, forest nutrition.

INTRODUCCIÓN

La interpretación de los resultados del análisis de tejido vegetal en especies forestales, ya sea con fines de diagnóstico nutrimental o investigación científica, suele ser una tarea

1 Postgrado Forestal, Línea de Investigación de Impacto y Mitigación del Cambio Climático Global, Colegio de Postgraduados. lopezma@colpos.mx.
2 Postgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados. jorgel@colpos.mx.

complicada (Timmer, 1991; Lopez-Lopez *et al.*, 2009). Actualmente, se han desarrollado varias técnicas para tal fin.

En el ámbito forestal, una de las técnicas de interpretación de análisis vegetal que ha tenido un creciente auge y aceptación durante los últimos años, especialmente en el medio científico, es la denominada "análisis de vectores", desarrollada por Timmer y Stone (1978).

Aunque el objeto del presente escrito no es explicar la metodología del análisis de vectores, se presenta una breve explicación de dicha técnica, con el propósito de introducir al lector que incursiona en la misma; sin embargo, para mayores detalles sobre el método, se recomienda recurrir a Haase y Rose (1995), Valentine y Allen (1990), Weetman (1989), Weetman y Wells (1990) y Timmer (1991). Para los fines del presente trabajo, es necesario señalar que, con frecuencia, la interpretación de los gráficos o nomogramas utilizados en este método resulta complicada y en ocasiones confusa, debido a la dificultad para asociar los efectos de las variables consideradas en la técnica [biomasa de un número determinado de acículas o fascículos, concentración (cantidad presente por unidad de biomasa) y contenido (cantidad presente en el total de biomasa) de un nutrimento de interés], lo que puede conducir al desaliento de los usuarios del método.

OBJETIVO

En la actualidad, se cuenta con modelos o guías tabulares para interpretar los nomogramas (Valentine y Allen, 1990; Weetman *et al.*, 1993); sin embargo, éstos son demasiado escuetos e inflexibles y, en ocasiones, el sentido que se da a ciertos vectores resulta vago o poco convincente. Por otro lado, los modelos tabulares sugieren interpretaciones de los vectores, sin definir si tal interpretación aplica al estado del nutrimento respectivo antes o después de aplicado el tratamiento.

En este documento se pretende poner a disposición del usuario del análisis de vectores una guía para: *1)* interpretar algunos vectores que hasta ahora no se han interpretado en la literatura publicada y cuya posibilidad de que ocurran en alguna circunstancia es real (Figura 1), *2)* hacer una interpretación de todos los vectores posibles, más amplia que la propuesta en las guías tabulares publicadas y *3)* interpretar en su caso el estado de un nutrimento antes y después de aplicado un tratamiento.

METODOLOGÍA

La derivación para interpretar los vectores se basó en la teoría relacionada con los efectos de dilución y concentración nutrimental que ocurren en cualquier sistema vegetal, como consecuencia de la producción de materia seca (Timmer, 1991; Mengel y Kirkby, 2000). De acuerdo con esta teoría, la concentración de nutrimentos en los tejidos vegetales está en función tanto de su disponibilidad en el suelo, como de las tasas de crecimiento del vegetal. Cuando las tasas de crecimiento son bajas, los nutrimentos se encuentran en los tejidos en concentraciones que pueden ser superiores al nivel crítico, aun cuando el nutrimento se encuentre disponible en bajas concentraciones en el suelo. Por el contrario, cuando las tasas de crecimiento son altas, los nutrimentos, especialmente aquellos cuya disponibilidad en el suelo es baja, se diluyen dentro de los tejidos (López y Estañol, 2007).

Otra teoría utilizada para interpretar los vectores de Timmer es la ley del

mínimo de Liebig (Larcher, 1995), la cual postula que el vegetal crece a una tasa tan alta como lo permita el factor del crecimiento que se encuentre menos disponible. Este factor puede ser un nutrimento, la temperatura ambiente o del suelo, la humedad ambiental o del suelo, etc. Múltiples investigaciones señalan que el factor limitante es alternante y que una vez que éste se corrige surge otro nuevo (Sumner, 1977a; 1977b; Moreno *et al.*, 2002). Esta ley implica que cuando el factor limitante del crecimiento se corrige, el vegetal responde positivamente a ese tratamiento y provoca dilución de otros nutrimentos que se encuentran poco disponibles. En otros términos, si ocurre un efecto positivo de un tratamiento sobre el crecimiento, ello significa que tal tratamiento mejoró el estado del factor limitante (Sumner, 1977a).

En la derivación de las posibles interpretaciones de los diversos vectores también se incluyen los efectos antagónicos o sinérgicos entre nutrimentos y entre éstos y otros factores del crecimiento. Ejemplos de tales efectos son la competencia por sitios de absorción entre el amonio y el potasio (Mengel y Kirkby, 2000), la disponibilidad de hierro y la baja actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo (pH alto) (Rodríguez, 1982; Mengel y Kirkby, 2000; López y Estañol, 2007), la elevada disponibilidad de la mayoría de micronutrimentos cuando el suelo tiene un pH bajo (Rodríguez, 1982; Mengel y Kirkby, 2000) y el antagonismo entre el fósforo y el zinc (Mengel y Kirkby, 2000), entre otros.

Finalmente, varias de las interpretaciones se adoptaron a partir de investigaciones publicadas sobre el análisis de vectores (Timmer y Stone, 1978; Weetman, 1989; Valentine y Allen, 1990; Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Timmer y Teng, 1999; Salifu y Timmer, 2001). Por supuesto, aquellas interpretaciones publicadas que se consideran incorrectas se puntualizan en el momento de describir la interpretación actual.

La figura 1 muestra un prototipo del nomograma producido a través del procedimiento desarrollado por Timmer y Stone (1978), en el que se presentan los vectores incluidos en la mayoría de documentos publicados al respecto, en adición a otros que con frecuencia se producen en los nomogramas, sin que hasta la fecha exista una sugerencia para interpretarlos. En este nomograma se incluyen vectores que pueden generarse bajo diversas circunstancias. La interpretación de cada uno de éstos se discute bajo dos ópticas: *1)* cuando el nutrimento que se interpreta coincide con el que se aplica y *2)* cuando el nutrimento de que se trata no se ha aplicado como parte del tratamiento. Los signos empleados (+, 0 y -) se refieren al cambio, a partir del tratamiento testigo, que cada vector presenta con respecto a los ejes de la gráfica, incluyendo las isolíneas, las cuales representan el contenido nutrimental. El primer signo representa el cambio en el eje *X* (peso seco de acículas o fascículos); el segundo, el cambio en el eje *Y* (concentración del nutrimento) y el tercero, el cambio de una isolínea de contenido a otra.

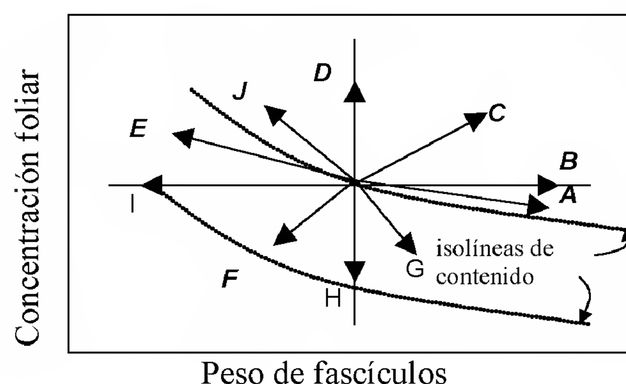


Figura 1. Vectores posibles en la técnica de análisis gráfico de vectores. Los vectores marcados con negritas e itálicas han sido interpretados en documentos publicados.

RESULTADOS

Interpretación de los vectores

De acuerdo con los criterios mencionados en la sección de metodología, los diversos vectores que pueden presentarse en un nomograma de Timmer se interpretan como sigue:

Vector A (+, -, +)

En este vector, el peso de fascículos se incrementa mientras que la concentración disminuye y el contenido aumenta. Esto significa que:

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. *Q* limitaba el crecimiento antes del tratamiento, por lo tanto el cultivo respondió a su aplicación.

2. *Q* no limitaba el crecimiento, pero interactuó con el factor limitante y mejoró su estado. Es decir, probablemente hubo un efecto sinérgico con otro factor del crecimiento.

3. La disponibilidad de *Q* aumentó, aunque en menor proporción que el crecimiento, lo cual provocó una dilución de *Q* (Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001). Esto indica que, después del tratamiento, *Q* es deficiente.

Este diagnóstico es contrario al propuesto por Haase y Rose (1995), quienes señalan a este vector como indicador de no limitación del nutrimento *Q*. Weetman (1989), por su parte, menciona que este vector puede indicar que *Q* es limitante del crecimiento.

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

La disponibilidad del nutrimento R mejoró con la aplicación del nutrimento Q.

1. El crecimiento del cultivo mejoró al aplicar *Q*, ya sea porque *Q* era deficiente o porque hubo un efecto sinérgico de *Q* con *R* u otro factor del crecimiento.

2. El nutrimento *R* se diluyó, lo cual indica que, después del tratamiento, *R* es deficiente (Valentine y Allen, 1990; Weetman, 1989).

Vector B (+, 0, +).

Este vector indica que el peso de fascículos y la disponibilidad de Q se incrementaron al agregar *Q*, aunque la concentración de Q en el vegetal no se modificó.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El crecimiento mejoró, ya sea porque *Q* era deficiente antes del tratamiento o porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con otro factor que limitaba el crecimiento.

2. Después del tratamiento, *Q* es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal (Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El crecimiento del cultivo mejoró, ya sea porque *Q* era deficiente antes del tratamiento, porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con el nutrimento *R* (y éste era deficiente) o porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con otro factor que limitaba el crecimiento.

2. Después del tratamiento, *R* es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal (Valentine y Allen, 1990).

Vector C (+, +, +)

Este vector indica un aumento en el peso de fascículos y la concentración y el contenido del nutrimento de interés en el vegetal.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El crecimiento aumentó porque el nutrimento *Q* era deficiente antes del tratamiento (Weetman, 1989)

2. La aplicación del nutrimento *Q* subsanó la deficiencia y ocurrió un consumo de lujo de *Q*.

3. Después del tratamiento, el nutrimento *Q* no es deficiente (Weetman, 1989).

Este diagnóstico contrasta con el sugerido por Haase y Rose (1995), Imo y Timmer (1997), Salifu y Timmer (2001), Varnagiryté-Kabasinskyené (2008), quienes señalan que este vector indica deficiencia. Por supuesto, antes de aplicado el tratamiento, el nutrimento era deficiente; sin embargo, después del tratamiento, la dirección del vector implica consumo de lujo.

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. El crecimiento aumentó, ya sea porque el nutrimento agregado *Q* era deficiente o porque *Q* tuvo efecto sinérgico con la disponibilidad de *R* (Valentine y Allen, 1990), el cual era deficiente.

2. El nutrimento *Q* tuvo efecto sinérgico sobre la absorción de *R*, el cual era limitante antes del tratamiento.

3. Después del tratamiento, *R* es suficiente y ocurrió algún consumo de lujo de este nutrimento

Vector D (0, +, +)

Este vector indica que el crecimiento no se modificó por efecto del tratamiento. En cambio, tanto la concentración como el contenido de *Q* sí aumentaron al agregarse este nutrimento.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El nutrimento *Q* no era deficiente antes del tratamiento. Su nivel era de suficiencia.

2. Después del tratamiento, el nutrimento *Q* está en un nivel de suficiencia.

3. Ocurrió un consumo de lujo del nutrimento *Q* (pérdida económica).

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. La aplicación de *Q* tuvo un efecto sinérgico sobre *R*, el cual no era deficiente.

2. Después del tratamiento, *R* está en un nivel de suficiencia.

3. *R* fue objeto de un consumo de lujo.

Vector E (-, +, -)

Este vector señala una disminución del crecimiento y el contenido, acompañada de un aumento en la concentración.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. La disminución del crecimiento se debe, ya sea a un efecto tóxico del nutrimento *Q* (Salifu y Timmer, 2001) o a un efecto de interacción entre *Q* y otro factor del crecimiento (Weetman, 1989), mismo

que se volvió limitante del crecimiento por tornarse deficiente o tóxico.

2. El nutrimento *Q* no era limitante del crecimiento antes del tratamiento.

3. Después del tratamiento, *Q* se encuentra en un nivel de suficiencia o, más probablemente, toxicidad (Weetman, 1989; Valentine y Allen, 1990; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El nutrimento *R* experimentó un efecto de concentración, debido al efecto negativo directo o indirecto de *Q* sobre el crecimiento.

2. El nutrimento *Q* tuvo efecto sinérgico con *R*; mejoró su disponibilidad y causó su acumulación en los tejidos.

3. Después del tratamiento, *R* se encuentra en un nivel de suficiencia o, más probablemente, de toxicidad.

Vector F (-, -, -)

Este vector señala una disminución en las tres variables presentes en los nomogramas.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. Comportamiento difícil de explicar, si es que sucede.

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. La disminución del crecimiento puede deberse a un efecto tóxico de *Q* o a un efecto antagónico entre *Q* y *R* cuando *R* era deficiente antes del tratamiento (Valentine y Allen, 1990). El efecto antagónico disminuyó la disponibilidad de *R* (Weetman, 1989; Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

2. Después del tratamiento, el nutrimento *R* es deficiente (Valentine y Allen, 1990).

Vector G (+, -, -)

El vector G indica que el crecimiento aumentó con el tratamiento, mientras que la concentración y el contenido disminuyeron.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. Comportamiento difícil de explicar, si es que sucede.

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El crecimiento aumentó porque *Q* limitaba el crecimiento antes del tratamiento.

2. Al aumentar el crecimiento, R se diluyó. Esto indica que probablemente R no era un limitante primario del crecimiento, aunque sí un limitante potencial.

3. *Q* tuvo un efecto antagónico con *R* y redujo su disponibilidad (Valentine y Allen, 1990).

4. *R* no es un limitante del crecimiento después del tratamiento (Valentine y Allen (1990); sin embargo, según Weetman (1989), este vector puede indicar deficiencia.

Vector H (0, -, -)

Este vector indica que el nutrimento agregado no tuvo efecto alguno sobre el crecimiento, aunque sí disminuyó tanto su concentración como su contenido.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. Comportamiento difícil de entender, si es que ocurre.

Caso 2: Análisis del nutrimento R diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El nutrimento *Q* tuvo un efecto antagónico que afectó la disponibilidad del nutrimento *R,* el cual no era deficiente antes del tratamiento.

2. Después del tratamiento, *R* no es limitante del crecimiento.

Vector I (-, 0, -)

Este vector indica que el crecimiento vegetal y la disponibilidad del nutrimento agregado disminuyeron con el tratamiento.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. La disponibilidad del nutrimento *Q* no mejoró con su aplicación.

2. El nutrimento *Q* afectó algún factor y éste fue el responsable de que disminuyera el crecimiento.

Caso 2: Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. *Q* tuvo un efecto tóxico sobre el crecimiento del cultivo (verificar si la concentración de *Q* se incrementó) y el tratamiento no afectó a R.

2. El nutrimento *Q* tuvo un efecto antagónico con el nutrimento *R* y se redujo la disponibilidad del segundo.

3. Después del tratamiento, *R* es suficiente, dado que el vegetal disminuyó en biomasa debido al tratamiento.

Vector J (-, +, +)

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. Este vector indica reducción del crecimiento y aumento de la concentración y el contenido.

2. La disminución del crecimiento, probablemente, se debe a un efecto tóxico del nutrimento *Q* (Salifu y Timmer, 2001).

3. Después del tratamiento, el nutrimento *Q* se encuentra en un nivel de toxicidad (Weetman, 1989; Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente al agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El nutrimento *Q* mejoró la absorción del nutrimento *R*.

2. Después del tratamiento, *R* está en un nivel de toxicidad.

Ejemplo 1 de aplicación de la guía

Una de las conclusiones del trabajo desarrollado por Valentine y Allen (1990) dice literalmente que "debido a que las respuestas foliares, en cuanto a nutrimentos no aplicados, tuvieron poca relación con las deficiencias reales, entonces, para hacer una evaluación precisa, se requiere que el nutrimento analizado sea el nutrimento agregado a la planta". Esta aseveración tiene su origen en la evaluación de un análisis de las interacciones entre el nitrógeno, el fósforo y el crecimiento.

En efecto, de acuerdo con la presente guía, al analizar el fósforo foliar cuando sólo se aplicó nitrógeno, desde el

nivel 0 hasta el nivel 2 (Figura 2), se obtiene el diagnóstico "+, 0, +" (vector B, caso 2); es decir:

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El crecimiento del cultivo mejoró, ya sea porque *Q* era deficiente antes del tratamiento, porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con el nutrimento *R* (y éste era deficiente) o porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con otro factor que limitaba el crecimiento.

2. Después del tratamiento, *R* es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal (Valentine y Allen, 1990)

Este diagnóstico indica que *Q* (el nutrimento aplicado, nitrógeno) era deficiente antes del tratamiento. Tal aseveración explica el incremento en la biomasa de acículas logrado con la aplicación de estos tratamientos (Vectores 1,0 y 2,0; Figura 2). La respuesta observada en la figura 3 corrobora la afirmación anterior, al indicar que siempre que se aplicó una dosis de nitrógeno, hubo una respuesta positiva en el crecimiento. Por otro lado, el diagnóstico mediante la presente guía indica que después del tratamiento, *R* (el nutrimento no aplicado, fósforo) es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal. Esto es cierto y se corrobora por la caída de la concentración de fósforo, cuando el nivel de nitrógeno fue demasiado alto (dosis 3 de nitrógeno, Figura 2), lo cual diagnosticaron correctamente Valentine y Allen (1990).

Cuando la dosis aplicada de nitrógeno pasó del nivel 2 al nivel 3 (Figura 2), el comportamiento del fósforo foliar cambió. En este caso, el vector es del tipo A (+, -, +), cuyo diagnóstico es el siguiente:

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. La disponibilidad del nutrimento *R* mejoró al aplicar el nutrimento *Q*.

2. El crecimiento del cultivo mejoró al aplicar *Q*, ya sea porque *Q* era deficiente o *Q* tuvo un efecto sinérgico con *R* u otro factor del crecimiento.

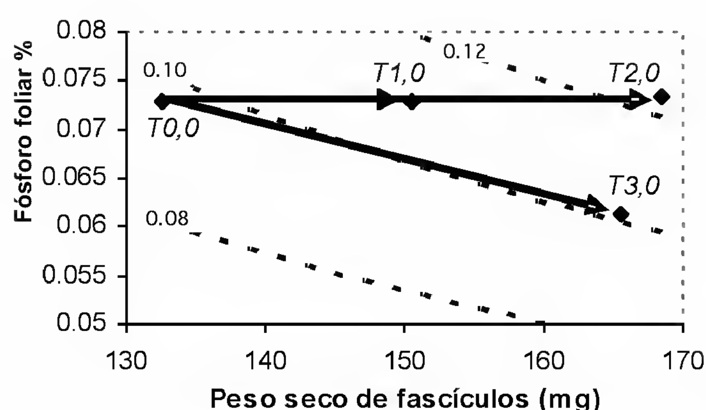


Figura 2. Respuesta del fósforo foliar a la aplicación de distintas dosis de nitrógeno (T 0,0 = dosis 0 de N y 0 de P…; T 3,0 = dosis 3 de N y 0 de P) en *Pinus taeda* L. (modificado de Valentine y Allen, 1990). Las dosis de N aplicadas fueron 0, 112, 224 y 336 kg ha^{-1}.

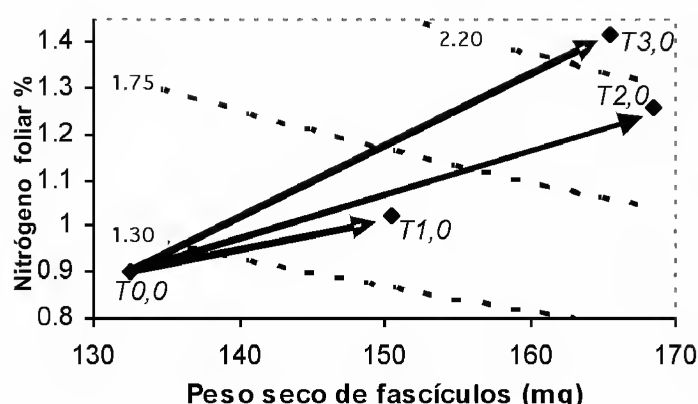


Figura 3. Respuesta del nitrógeno foliar a la aplicación de distintas dosis de nitrógeno (T 0,0 = dosis 0 de N y 0 de P…; T 3,0 = dosis 3 de N y 0 de P) en *Pinus taeda* L. (modificado de Valentine y Allen, 1990).

3. El nutrimento *R* se diluyó. Por lo tanto, después del tratamiento, *R* es deficiente (Valentine y Allen, 1990; Weetman, 1989).

De este conjunto de posibilidades, la primera indica que la aplicación del tratamiento con nitrógeno (dosis máxima) indujo un aumento que, en este caso, fue somero, en la disponibilidad de fósforo (Figura 2). Este tipo de interacciones puede deberse a cambios en la química del suelo inducidos por un tratamiento. Una posible explicación del incremento en la disponibilidad de fósforo es que el nitrógeno haya promovido un cambio en el pH del suelo y haya contribuido a solubilizar el fósforo.

La segunda aseveración deja abierta la posibilidad de que el incremento de biomasa se deba al efecto del nitrógeno o bien al efecto del mejoramiento de la disponibilidad de fósforo o a un posible efecto del tratamiento sobre otro factor que haya resultado en el mejoramiento de las condiciones generales de crecimiento del vegetal. Puede o no haber argumentos o datos que apoyen alguna de estas posibilidades.

Finalmente, la tercera afirmación no da pie a mayor discusión. Al aplicarse la dosis de nitrógeno se incrementó el crecimiento, al grado de que el fósforo se diluyó dentro de la planta. Este efecto de dilución fue correctamente identificado por Valentine y Allen (1990) e indica que, después del tratamiento, el fósforo es deficiente (López y Estañol, 2007).

En este ejemplo, el uso de la guía contribuyó a profundizar en las interpretaciones de los vectores, proporcionando un catálogo mucho más amplio de posibles elucidaciones que el incluido en la guía tabular clásica. También mostró que las interpretaciones hechas mediante la presente guía corresponden, en su caso, con las hechas mediante la guía tabular.

CONCLUSIONES

Este ensayo indica que la clave propuesta facilita de manera importante la interpretación de los nomogramas y permite profundizar en el análisis de los vectores y producir una mayor gama de posibilidades de efectos de los tratamientos que cuando se utiliza la tradicional guía tabular. Las ventajas mencionadas permiten generar una mayor discusión de los resultados del trabajo y, probablemente, producir resultados finales más confiables y provechosos.

REFERENCIAS

Haase, D.L. y R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. For. Sci. 41(1):54-66.

Imo, M. y V.R. Timmer. 1997. Vector diagnosis of nutrient dynamics in mezquite seedlings. For. Sci. 43(2):268-273.

Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. Springer. 3a. ed. Berlin, Alemania. 506 p.

López L., M.A. y E. Estañol B. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. Terra Latinoamericana 25(1):9-15.

Lopez-Lopez, M.A., R.M. Reich, C. Aguirre-Bravo y A. Velázquez-Martínez. 2009. Pine growth and nutrient status as related to pine/alder ratio in mixed stands. J. Biol. Sci. 9(7):637-647.

Mengel, K. y A.E. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a. ed. por R. J. Melgar y M. Ruiz. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza.

Moreno Ch., L.R., M.A. L. López, E. B. Estañol y A. M. Velázquez. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. *et* Cham. en vivero mediante el DRIS. Madera y Bosques 8(1):51-60.

Rodríguez, S.F. 1982. Fertilizantes. Nutrición vegetal. AGT Editor. México, D. F. 157 p.

Salifu, K.F. y V.R. Timmer. 2001. Nitrogen retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. Soil Sci. Soc. Am. J. 65(1):905-913.

Sumner, M.E. 1977a. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8(2):148-167.

Sumner, M.E. 1977b. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8(3):251-267.

Timmer, V.R. y E.L. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 42:125-130.

Timmer, V.R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. pp. 113-134. *In*, R. van den Driessche (ed.). Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press. Boca Raton, FL, EE.UU.

Timmer, V.R. y Y. Teng. 1999. Foliar nutrient analysis of sugar maple decline: retrospective vector diagnosis. *In*, Stephen B., Long Robert P. (eds.) Sugar maple ecology and health: proceedings of an international symposium; 1998 june 2-4; Warren, PA. Gen. Tech. Rep. NE-261. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, pp. 69-73.

Valentine, D.W. y H.L. Allen. 1990. Foliar responses to fertilization identify nutrient limitation in loblolly pine. Can. J. For. Res. 20(2):144-151.

Varnagyrité-Kabasinskyené, I. 2008. Complex study of foliage nutrient status in ash fertilized scots pine stands in Lithuania. J. For. Sci. 54(5):195-206.

Weetman, G.F. 1989. Graphical vector analysis technique for testing stand nutritional status. pp. 93-109. *In*, W. J. Dyck y C. A. Mees (eds.). Research strategies for long-term site productivity. Proceedings, IEA/BE A3 Workshop. Seattle, WA. August 1988. IEA/BE A3 Report No. 8. Bulletin 152. Forest Research Institute. Nueva Zelanda.

Weetman, G.F. y C.G. Wells. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. pp. 659-690. *In*, R. L. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis. 3a. ed. Soil Science Society of America. Madison, WI, EE.UU.

Weetman, G.F., M.A. McDonald, C.E. Prescott y J.P. Kimmins. 1993. Responses of western hemlock, pacific silver fir and western red cedar plantations on northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. Can. J. For. Res. 23:1815-1820.

Manuscrito recibido el 12 de septiembre de 2008
Aceptado el 18 de enero de 2010

Este documento se debe citar como: López-López, M.A. y J. Alvarado-López. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16(1):99-108.

MADERA Y BOSQUES Vol. 16 Núm. 1
Se terminó de imprimir en el mes de marzo de 2010
en los talleres de Editorial Cromocolor S.A. de C.V.
Miravalle 703 Col. Portales C.P. 03570, México, D.F.

La edición consta de 400 ejemplares
más sobrantes para reposición.



Madera y Bosques 16(1), 2010

CONTENIDO